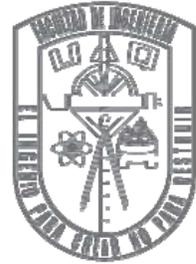




Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería



# **“Desarrollo de Tecnología Ethernet y sus aplicaciones”**

Tesina

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

**Ingeniero en Automatización**

Presentan:

**Abdiel Arroyo González**

**Erick Martín Durán Balderas**

Dirigido por:

**Ing. María Luisa Balderas Escamilla**

**Querétaro, Qro. Noviembre de 2010**

La presente obra está bajo la licencia:  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



**SinDerivadas** — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

### Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

## 1. INDICE

1. Índice	2
2. Introducción	5
3. Introducción a los Protocolos de Comunicación	8
i. DeviceNet	11
ii. InterBus	11
iii. ModBus	12
iv. Profibus	14
v. Ethernet	16
4. Sistemas de Control	18
i. Ajuste del controlador PID	21
ii. Dispositivos de Control	24
iii. pH	25
a) Descripción de la Planta	27
b) Estrategias para el control de pH	39
iv. Temperatura	34
a) Proceso	34
b) Realimentación	35
c) Entrada de Referencia	36
d) Circuito de Control por Histéresis	37
5. Introducción a Ethernet Industrial	40
i. Historia	40
ii. Versiones	42

iii.	Características de Funcionamiento	44
iv.	Conexiones Simples, Semiduplex y Duplex totales	45
	a)    Una conexión Simple	45
	b)    Una Conexión Semiduplex	46
	c)    Una Conexión Duplex total	47
v.	Transmisión en Serie y Paralela	48
	a)    Conexión Paralela	48
	b)    Conexión Serie	49
	c)    Transmisión Síncrona y Asíncrona	50
vi.	Ventajas y desventajas de Ethernet sobre otros protocolos de comunicación	51
	a)    Ventajas	51
	b)    Desventajas	52
vii.	Modelo OSCI	53
	a)    Capas de Modelo OSCI que describe ETHERNET	53
	b)    Objetivos de Ethernet	56
6.	Ethernet Industrial	59
	i.    Formato de la trama	59
	ii.   Tecnología y velocidad	63
	iii.  Hardware utilizado	66
	iv.   Configuración del Cable RJ-45	67
7.	Ethernet y sus Aplicaciones	70
	i.    Industrial	71

8. Control de Temperatura y PH en utilizando una Red de Ethernet para la producción de Yogurt	77
i. Definición del problema	77
ii. Objetivo	77
iii. Propuesta de solución	77
iv. Metodología	78
9. Conclusión sobre Ethernet	79
10. Bibliografía	80

## 2. INTRODUCCIÓN

Mediante este trabajo se busca proponer una solución de control a la planta por medio de un PID proporcionado por un Controlador Lógico Programable (PLC), donde sus sensores y actuadores estén conectados a una línea de comunicación de campo (RED) definida por los parámetros y características de Ethernet Industrial y DeviceNet.

Se explicarán de manera sintetizada la teoría de control aplicable al problema de la elaboración de yogurt. Se propondrán sensores para medir las variables PH y Temperatura y se mostrarán diagramas para armar la RED Ethernet para un PLC Allen Bradley.

Hablar de Automatización enfoca una gran diversidad de procesos, tanto industriales como domésticos. Esto genera una gran variedad de fenómenos, problemas y áreas de oportunidad para un ingeniero que está especializado en el área. Le permite involucrarse en el área de investigación que mejor considere o ejercer en un área laboral muy amplia, desde sector alimenticio, mecánico, metálico, automotriz, eléctrico, electrónico e incluso doméstico.

El ingeniero en automatización debe tener la capacidad de trabajar con motores de corriente alterna y directa, sistemas neumáticos, sistemas eléctricos, sistemas electrónicos e incluso mecánicos. Conjuntando diversas teorías físicas y químicas en una gran diversidad de procesos. Esto le da una clara ventaja para poder ejercer la profesión pero al mismo tiempo una desventaja. Al no poder especializarse en un área específica, resulta que todo el conocimiento adquirido en su formación pueda ser inútil.

Es bueno establecer una definición de Automatización para que el lector de este trabajo pueda enfocar su mente a algo más específico:

La palabra automatización proviene del griego antiguo, utilizando la palabra *auto* como prefijo, que significa guiado por uno mismo. Agregando a esta definición se complementa la palabra *autómata*, que significa Aparato que contiene los mecanismos necesarios para ejecutar ciertos movimientos o tareas similares a las que realiza una persona. [1]

Enfocando aún mas encontramos la definición de **Automatización Industrial**: Es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos.

Si bien las últimas palabras de la frase anterior pueda resultar aterrador a cierta gente, el objetivo no se considera sea ese. Si no hacer más eficientes procesos de producción, reducir tiempos de ajuste, producir a una velocidad mayor y de mejor calidad que el instante anterior. Y quizá lo más importante proveer de aparatos y componentes que faciliten la realización de diferentes actividades, desde abrir una puerta o encender un televisor, hasta diseñar autómatas que reproduzcan movimientos del ser humano.

Hablando particularmente del Yogurt, sabemos que es un producto de consumo popular, y se ha convertido en un producto derivado de la leche de alta preferencia por sus propiedades alimenticias, el cual es altamente recomendó para la nutrición diaria de personas de cualquier edad.

La calidad del producto depende directamente del control de la producción del ácido láctico, ácido formado en base a la fermentación de la leche. El ácido láctico provee un sabor y una desestabilización de las proteínas contenidas en la leche formando estructuras gelatinosas. La medición del PH de la leche, ayuda a monitorear la producción de ácido y provee control de calidad en el producto final.

La producción de yogurt comienza seleccionando y mezclando los ingredientes correctos; por ejemplo la concentración de leche, agentes adelgazantes, azúcares y frutas, solo por citar algunos ejemplos. Estos ingredientes proveen un buen gusto visual al alimento, mejor sabor y viscosidad. La mezcla homogénea de los ingredientes se hace mediante alta presión, para evitar la separación de las grasas y evitar se dispersen los sólidos. Posterior a esto, la temperatura es elevada para destruir microorganismos que puedan dañar la salud y al mismo tiempo reestructurar las proteínas, haciendo el producto más viscoso. Después de enfriar, se agrega a la mezcla una bacteria que causa la fermentación de la lactosa. Esta incubación toma de 4 a 11 horas.

Durante la fermentación, la lactosa, o sea la azúcar de la leche, se convierte en ácido láctico, disminuyendo los valores de PH a un rango de 4.25 a 4.5. En este punto la acción de la bacteria es detenida por un proceso de enfriamiento rápido, justo cuando está en estos niveles de PH. La

correcta instrumentación de medidores de PH ayudan al proceso de fermentación. Obtener niveles incorrectos de PH puede causar decoloración, exceso de fermentación, mal sabor, pérdida de nutrientes alimenticios y exceso o insuficiencia de tartness.[1]

Para tener este control de PH, y como se lee en líneas anteriores es necesario proveer de un ambiente óptimo para el proceso de fermentación, es crucial el control de la temperatura, por que es necesario calentar y enfriar el volumen establecido de una manera rápida y eficiente.

Para esto existen varios métodos de control de temperatura, el problema es que la respuesta de este control es muy lenta y hay que buscar la forma de enfriar el yogurt lo más rápido posible en el punto de nivel de acidez deseado para detener la acción de la bacteria de fermentación.

Mediante este trabajo se busca proponer una solución de control a la planta por medio de un PID proporcionado por un Controlador Lógico Programable (PLC), donde sus sensores y actuadores estén conectados a una línea de comunicación de campo (RED) definida por los parámetros y Características de Ethernet Industrial y DeviceNet.

Se explicarán de manera sintetizada teoría de control aplicable al problema de la elaboración de yogurt. Se propondrán sensores para medir las variables PH y Temperatura y se mostrarán diagramas para armar la RED Ethernet para un PLC.

El resultado esperado para el trabajo es tener información para implementar el proyecto. Concluyendo con propuestas concretas para la producción del yogurth en un proceso controlado.

### 3. INTRODUCCIÓN A LOS PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Un protocolo de comunicación es un concepto que está definido informáticamente para maquinas o dispositivos que transfieren información digital o análoga. Son métodos que permiten el intercambio de datos de dispositivos conectados en una red, por medios físicos como cables, fibras o transmisores y receptores para el caso de comunicaciones inalámbricas. Normalmente un protocolo de comunicación está diseñado para la aplicación en buses de campo.

Un bus de campo es el medio por el cual se hará el intercambio de datos entre los dispositivos a distancias considerables, donde estarán compartiendo datos según su arquitectura y aplicación.

Una red es el conjunto cerrado de dispositivos conectados en un bus de campo, intercambiando entre ellos datos, generalmente bajo el mismo protocolo de comunicación. Actualmente hay diversos protocolos de comunicación, por lo cual los fabricantes han desarrollado dispositivos que permiten la interacción de dos tipos de protocolos de comunicación en una sola red.

La cantidad de dispositivos conectados en una red, dependerá sencillamente del protocolo de comunicación, la velocidad de transmisión de datos e incluso la distancia de conexión de los dispositivos entre si. La longitud total de la red.

Todos los protocolos de comunicación, dispositivos controladores, e incluso marcas de dispositivos, están definidas por el modelo OSI.

De sus siglas en inglés Open Systems Interconnection, al español, Sistemas Abiertos de Interconexión, define siete capas para el desarrollo de softwares y dispositivos de control, permitiendo de manera “abierta” la interconexión entre varios fabricantes.

Las capas están definidas por el siguiente diagrama (Tabla 1):



Tabla 1. DIAGRAMA DEL MODELO OSI

Es casi imposible que algún dispositivo o protocolo de comunicación pueda definir todas las capas del modelo OSI, por tal motivo queda abierto para que otros dispositivos puedan definir las otras capas y poder completar un buen sistema de conexión bajo el modelo OSI.

La capa FÍSICA define características eléctricas, mecánicas, funcionales y de procedimiento que se requieren para mover bits de datos entre cada extremo del enlace de comunicación.

Es aquí donde aparecen la amplia variedad de tipos de cables, conectores, pines, etc., que definirán específicamente a cada protocolo

En la capa de ENLACE de datos se observa el flujo de bits, es decir la forma en que la información es movida de un punto a otro siempre procurando evitar colisiones y pérdida de información.

Normalmente esta capa está basada en un protocolo de comunicación serial CAN (Controller Area Network) desarrollada por Robert Bosch. Desarrollada principalmente para reducir la cantidad de cables en automóviles; es utilizada por mas de 50 fabricantes en el mundo.

Para evitar colisiones, se utiliza un método regido por un algoritmo llamado CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Acces / Collision Detection). Algoritmo complicado que además de evitar que la información se pierda identifica prioridades en la información.

Mientras que observamos la capa de RED, nos damos cuenta que realiza cinco tareas básicas: la primera dividir los mensajes de la capa de transporte y los ensambla al final de su trama. Posterior a esto se apoya del nivel de enlace para el envío en un paquete o trama de bits, después en ruta esos paquetes mientras los envía de nodo a nodo, o a los asignados. Y por último ejerce en control de congestiónamiento de datos.

La capa de TRANSPORTE establece conexiones punto a punto sin errores para el envío de mensajes, multiplexando la conexión entre diferentes procesos, adicionando la difusión de mensajes tipo “broadcast” a múltiples destinatarios. Siendo por último y muy importante el control de flujo de bits.

Durante la capa de SESIÓN, define las diferentes máquinas que establecen sesión en una red, de manera remota o directamente conectada al sistema. Su función más importante es controlar el diálogo de “quién habla”, “cuanto habla”, si es “half duplex” o “full duplex”, así como sincronizar los equipos conectados al sistema.

La capa de PRESENTACIÓN establece una sintaxis y semántica de la información transmitida, definiendo la estructura de los datos a transmitir, así como el código para la cadena de caracteres. Se puede apoyar de una compresión de datos para estos fines.

La capa de APLICACIÓN define la forma en que la información es estructurada y de que manera se accederá a la información, ya sea de manera implícita en la trama de datos o explícita. Permite la transferencia de archivos, hacer inicios de sesiones remotas, habilitar correos electrónicos y acceder a la base de datos.<sup>i</sup>

## **i. DEVICE NET**

DeviceNet es una red industrial que permite conectar en red y administrar a distancia una amplia variedad de dispositivos. DeviceNet permite integrar desde autómatas programables y E/S remotas hasta convertidores de frecuencia y servomotores, pasando por sensores de fibra óptica y equipos de visión artificial, lo que lo convierte en uno de los mejores buses de campo del sector industrial.<sup>ii</sup>

Bus basado en CAN. Su capa física y capa de enlace se basan en ISO 11898, y en la especificación de Bosh 2.0. DeviceNet define una de las más sofisticadas capas de aplicaciones industriales sobre bus CAN.

DeviceNet fue desarrollado por Allen-Bradley a mediados de los noventa, posteriormente pasó a ser una especificación abierta soportada en la ODVA (Open DeviceNet Vendor Association), Cualquier fabricante puede asociarse a esta organización y obtener especificaciones, homologar productos, etc.

Es posible la conexión de hasta 64 nodos con velocidades de 125 Kbps a 500 Kbps en distancias de 100 a 500 m.

Utiliza una definición basada en orientación a objetos para modelar los servicios de comunicación y el comportamiento externo de los nodos. Define mensajes y conexiones para funcionamiento maestro-esclavo, interrogación cíclica, "strobing" o lanzamiento de interrogación general de dispositivos, mensajes espontáneos de cambio de estado, comunicación uno-uno, modelo productor-consumidor, carga y descarga de bloques de datos y ficheros etc.<sup>iii</sup>

## **ii. INTERBUS**

Protocolo propietario, inicialmente, de la empresa Phoenix Contact GmbH, aunque posteriormente ha sido abierta su especificación. Normalizado bajo DIN 19258, norma europea EN 50 254. Fue introducido en el año 1984.

Utiliza una topología en anillo y comunicación mediante un registro de desplazamiento en cada nodo. Se pueden enlazar buses periféricos al principal.

Capa física basada en RS-485. Cada dispositivo actúa como repetidor. Así se puede alcanzar una distancia entre nodos de 400 m para 500Kbps y una distancia total de 12 KM. Es posible utilizar también enlaces de fibra óptica.

Capa de transporte basada en una trama única que circula por el anillo (trama de suma)

La información de direccionamiento no se incluye en los mensajes, los datos se hacen circular por la red. Alta eficiencia. Para aplicaciones de pocos nodos y un pequeño conjunto de entradas/salidas por nodo, pocos buses pueden ser tan rápidos y eficientes como INTERBUS.

Físicamente tiene la impresión de seguir una topología en estrella, pero realmente cada nodo tiene un punto de entrada y otro de salida hacia el siguiente nodo.

Es muy sensible a corte completo de comunicación al abrirse el anillo en cualquiera de los nodos. Por otra parte, la estructura en anillo permite una fácil localización de fallos y diagnóstico.

Es muy apropiado para comunicación determinista a alta velocidad, es muy difícil una filosofía de comunicación orientada a eventos.<sup>iv</sup>

### iii. **MODBUS**

El protocolo, es un sistema de transmisión de datos que controla la estructura de las comunicaciones que tienen lugar entre la Estación Central o Maestra y las Estaciones Esclavas

(Autómatas, RTU, PID, etc.). A cada equipo remoto se le asigna un número de dispositivo (dirección unívoca) en el rango de 1 a 255. Una comunicación comprende una interrogación y una respuesta, lo que forma la ESTRUCTURA DE LAS TRAMAS del protocolo.

En su definición inicial Modbus era una especificación de tramas, mensajes y funciones utilizada para la comunicación con los PLC's Modicon. Modbus puede implementarse sobre cualquier línea de comunicación serie y permite la comunicación por medio de tramas binarias o ASCII con un proceso interrogación-respuesta simple. Debido a que fue incluido en los PLC's de la prestigiosa firma Modicon en 1979, ha resultado un estándar de facto para el enlace serie entre dispositivos industriales.

Modbus Plus define un completo bus de campo basado en técnica de paso de testigo. Se utiliza como soporte físico el par-trenzado o fibra óptica.

En la actualidad Modbus es soportado por el grupo de automatización Schneider (Telemecanique, Modicon,...).<sup>v</sup>

Existen dos variantes, con diferentes representaciones numéricas de los datos y detalles del protocolo ligeramente desiguales. Modbus RTU es una representación binaria compacta de los datos. Modbus ASCII es una representación legible del protocolo pero menos eficiente. Ambas implementaciones del protocolo son serie. El formato RTU finaliza la trama con un suma de control de redundancia cíclica (CRC), mientras que el formato ASCII utiliza una suma de control de redundancia longitudinal (LRC). La versión Modbus/TCP es muy semejante al formato RTU, pero estableciendo la transmisión mediante paquetes TCP/IP.

Modbus Plus (Modbus+ o MB+), es una versión extendida del protocolo que permanece propietaria de Modicon. Dada la naturaleza de la red precisa un coprocesador dedicado para el control de la misma. Con una velocidad de 1 Mbit/s en un par trenzado sus especificaciones son muy semejantes al estándar EIA/RS-485 aunque no guarda compatibilidad con este.

Cada dispositivo de la red Modbus posee una dirección única. Cualquier dispositivo puede enviar órdenes Modbus, aunque lo habitual es permitirlo sólo a un dispositivo maestro. Cada

comando Modbus contiene la dirección del dispositivo destinatario de la orden. Todos los dispositivos reciben la trama pero sólo el destinatario la ejecuta (salvo un modo especial denominado "Broadcast"). Cada uno de los mensajes incluye información redundante que asegura su integridad en la recepción. Los comandos básicos Modbus permiten controlar un dispositivo RTU para modificar el valor de alguno de sus registros o bien solicitar el contenido de dichos registros.

#### iv. **PROFIBUS**

Profibus se desarrolló bajo un proyecto financiado por el gobierno alemán. Está normalizado en Alemania por DIN E 19245 y en Europa por EN 50170. El desarrollo y posterior comercialización ha contado con el apoyo de importantes fabricantes como ABB, AEG, Siemens, Klöckner-Moeller,... Está controlado por la PNO (Profibus User Organisation) y la PTO (Profibus Trade Organisation).

Existen tres perfiles:

- Profibus DP (Decentralized Periphery). Orientado a sensores/actuadores enlazados a procesadores (PLCS) o terminales.
- Profibus PA (Process Automation). Para control de proceso y cumpliendo normas especiales de seguridad para la industria química (IEC 1 / 15 8-2, seguridad intrínseca).
- Profibus FMS (Fieldbus Message Specification). Para comunicación entre células de proceso o equipos de automatización. La evolución de Profibus hacia la utilización de protocolos TCP/IP para enlace al nivel de proceso hace que este perfil esté perdiendo importancia.

Utiliza diferentes capas físicas. La más importante, en PROFIBUS DP, está basada en EIA RS-485. Profibus PA utiliza la norma IEC 11158-2 (norma de comunicación síncrona entre

sensores de campo que utiliza modulación sobre la propia línea de alimentación de los dispositivos y puede utilizar los antiguos cableados de instrumentación (4-20mA) y para el nivel de proceso se tiende a la utilización de Ethernet. También se contempla la utilización de enlaces de fibra óptica. Existen puentes para enlace entre diferentes medios, además de gateways que permiten el enlace entre perfiles y con otros protocolos.

Se distingue entre dispositivos tipo maestro y dispositivos esclavo. El acceso al medio entre maestros se arbitra por paso de testigo, el acceso a los esclavos desde un maestro es un proceso de interrogación cíclico (polling). Se pueden configurar sistemas multimaestro o sistemas más simples maestro-esclavo.

En Profibus DP se distingue entre: maestro clase 1 (estaciones de monitorización y diagnóstico), maestro clase 2 (elementos centralizadores de información como PLCs, PCs, etc.), esclavo (sensores, actuadores).

El transporte en Profibus-DP se realiza por medio de tramas según IEC 870-5-1. La comunicación se realiza por medio de datagramas en modo broadcast o multicast. Se utiliza comunicación serie asíncrona por lo que es utilizable una UART genérica.

Profibus DP prescinde de los niveles ISO 3 a 6 y la capa de aplicación ofrece una amplia gama de servicios de diagnóstico, seguridad, protecciones etc. Es una capa de aplicación relativamente compleja debido a la necesidad de mantener la integridad en el proceso de paso de testigo (un y sólo un testigo)

Profibus FMS es una compleja capa de aplicación que permite la gestión distribuida de procesos al nivel de relación entre células con posibilidad de acceso a objetos, ejecución remota de procesos etc. Los dispositivos se definen como dispositivos de campo virtuales, cada uno incluye un diccionario de objetos que enumera los objetos de comunicación. Los servicios disponibles son un subconjunto de los definidos en MMS (ISO 9506)

Las plataformas hardware utilizadas para soportar Profibus se basan en microprocesadores de 16 bits más procesadores de comunicaciones especializados o circuitos ASIC como el LSPM2

de Siemens. La PNO se encarga de comprobar y certificar el cumplimiento de las especificaciones PROFIBUS.

Entre sus perspectivas de futuro se encuentra la integración sobre la base de redes Ethernet al nivel de planta y la utilización de conceptos de tiempo real y filosofía productor-consumidor en la comunicación entre dispositivos de campo.

Las distancias potenciales de bus van de 100 m a 24 Km (con repetidores y fibra óptica). La velocidad de comunicación puede ir de 9600 bps a 12Mbps. Utiliza mensajes de hasta 244 bytes de datos.

Profibus se ha difundido ampliamente en Europa y también tiene un mercado importante en América y Asia. El conjunto Profibus DP- Profibus PA cubre la automatización de plantas de proceso discontinuo y proceso continuo cubriendo normas de seguridad intrínseca.<sup>vi</sup>

#### v. **ETHERNET**

La norma IEEE 802.3 basada en la red Ethernet de Xerox se ha convertido en el método más extendido para interconexión de computadores personales en redes de proceso de datos. En la actualidad se vive una auténtica revolución en cuanto a su desplazamiento hacia las redes industriales. Es indudable esa penetración. Diversos buses de campo establecidos como Profibus, Modbus etc. han adoptado Ethernet como la red apropiada para los niveles superiores. En todo caso se buscan soluciones a los principales inconvenientes de Ethernet como soporte para comunicaciones industriales:

- El intrínseco indeterminismo de Ethernet se aborda por medio de topologías basadas en conmutadores. En todo caso esas opciones no son gratuitas.
- Se han de aplicar normas especiales para conectores, blindajes, rangos de temperatura etc. La tarjeta adaptadora Ethernet empieza a encarecerse cuando se la dota de robustez para un entorno industrial

Parece difícil que Ethernet tenga futuro a nivel de sensor, aunque puede aplicarse en nodos que engloban conexiones múltiples de entrada-salida.

Como conclusión Ethernet está ocupando un área importante entre las opciones para redes industriales, pero parece aventurado afirmar, como se ha llegado a hacer, que pueda llegar a penetrar en los niveles bajos de la pirámide CIM.<sup>vii</sup>

#### 4. SISTEMAS DE CONTROL

Sistemas de control, aquí se explicará todo lo referente a la aplicación de control en un sistema o proceso, también se expondrá la parte referente a los tipos de control existentes. Por último se comentará el tipo de control utilizado(PID) para el control de variables.

Un sistema de control es aquel, que se le aplica a cualquier proceso, planta o sistema para que funcione de acuerdo a los parámetros establecidos de entrada o referencia; utilizando algún método o modelado matemático.

El control de un sistema puede ser, en sus primeras instancias manual, tan simple como regular el volumen de la radio moviendo una perilla de control; o también puede ser automático, tal como mantener la temperatura fría de un refrigerador.

Y puede ser tan sencillo como la cantidad de agua que se le agrega a un vaso, hasta ser tan complicada como el sistema lo requiera, dentro de ambientes hostiles para el ser humano o de difícil acceso.

La ingeniería de control ha sido absorbida por las diferentes ramas de la ingeniería, física y química que lo quieren, y en ocasiones ha sido subestimada su importancia dentro de cualquier proceso, y por tal motivo los sistemas, hablando de máquinas procesos tienen altos problemas de eficiencia, consumos de energía muy elevados, desgastes excesivos en componentes y demás problemas que de contar con un buen sistema de control serían mejores sus funciones.

Para entender como funciona el control de un sistema, se ejemplifica en la (Figura 1), donde por medio de un diagrama de bloques entendemos el proceso de control en lazo cerrado.

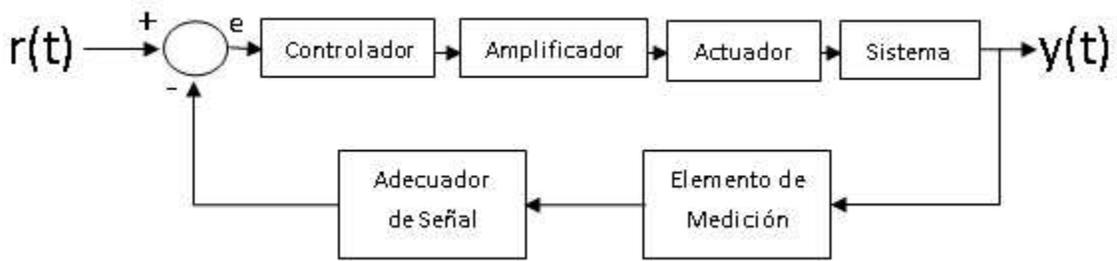


Figura 1. Diagrama de bloques de sistema de control de cualquier sistema

En primera instancia es aplicada una referencia al sistema, tal como voltaje, temperatura o la referencia de la variable o variables a controlar denotada como “ $r(t)$ ”; entra a un punto de suma, donde a la salida de éste tendremos el valor del error, denotado por la letra “ $e$ ”; el error entra al controlador, que por medio de algún método establecido trabaja la señal de entrada procurando minimizar el error; después el amplificador, como su nombre lo señala, amplifica la señal del controlador para que un actuador pueda modificar físicamente los valores otorgados por el controlador en el sistema que se está controlando.

La salida del sistema, denotada como “ $y(t)$ ”, proporcionará físicamente un cambio.

Posterior a esto una parte fundamental para poder establecer control, ya sea automático o manual, es necesario un elemento de medición, el cual nos dirá como se está comportando la salida del sistema. Posterior a esto, una persona podrá cambiar el valor de referencia para que sea controlada, o automáticamente por medio de un adecuador de señal, se convertirá una vez más la señal para que sea comparada con la referencia y el controlador haga una vez más su trabajo.

Es importante señalar los signos del punto de suma de la (Figura 2), ya que se estará haciendo una diferencia entre la referencia y la medición, procurando que el error sea cero cuando el tiempo tienda hacia infinito.

Esta es la aportación que la ingeniería de control ha aportado hacia la sociedad. La retroalimentación. Con esta muchos sistemas, por obvios que parezcan, funcionan óptimamente por la retroalimentación que tengan, sean o no automáticas. Como ejemplos se puede citar el

caso de los refrigeradores, ajuste de brillo y contraste de los televisores, sistemas de posicionamiento global entre otros.

También están los sistemas de control que no poseen retroalimentación. Los sistemas de control en lazo abierto, que funcionan de manera similar, únicamente que no se necesita medir la salida.



Figura 2. Sistema de control en lazo abierto

En la (Fig. 2) se muestra el diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto. A diferencia del control en lazo cerrado se podría medir, pero el valor de la referencia no cambiará según el valor obtenido en la medición.

Para que quede más claro, una vez más tomamos el ejemplo de los electrodomésticos, en este caso una lavadora; su sistema de control es de lazo abierto, ya que únicamente se mueve a través del tiempo, en los ciclos de lavado, haciendo lo establecido por el usuario en cada ciclo de lavado, pero su salida no va a ser medida o modificada para realizar un relavado de ropa. Esto es la entrada “lavar”, no va a ser modificada por la salida “que tan limpia esta la ropa”. Sencillamente lavará y terminará de operar.

La ingeniería de control ha sido absorbida por las diferentes ramas de la ingeniería, física y química que lo quieren, y en ocasiones ha sido subestimada su importancia dentro de cualquier proceso, y por tal motivo los sistemas, hablando de máquinas procesos tienen altos problemas de eficiencia, consumos de energía muy elevados, desgastes excesivos en componentes y demás problemas que de contar con un buen sistema de control serían mejores sus funciones.

### i. AJUSTE DEL CONTROLADOR PID

En esta sección dentro del área de control, se hará completa referencia hacia el control seleccionado, se desglosará a manera concreta sus ecuaciones para determinar los diferentes valores de ganancia. Y al final se hará la relación con el dispositivo controlador PLC.

El control PID, de sus siglas en inglés *Proportional, Integer & Derivative control*, a su literal traducción al español “controlador Proporcional, Integral y Derivativo”, es un método para realizar control sobre un proceso o planta, al cual se denominará sistema.

Este método es un proceso matemático de minimización del error medido a la salida del sistema, y comparado continuamente con la referencia proporcionada al controlador PID.

Para poder explicar mejor el funcionamiento de éste método de control se observa la (Figura 3):

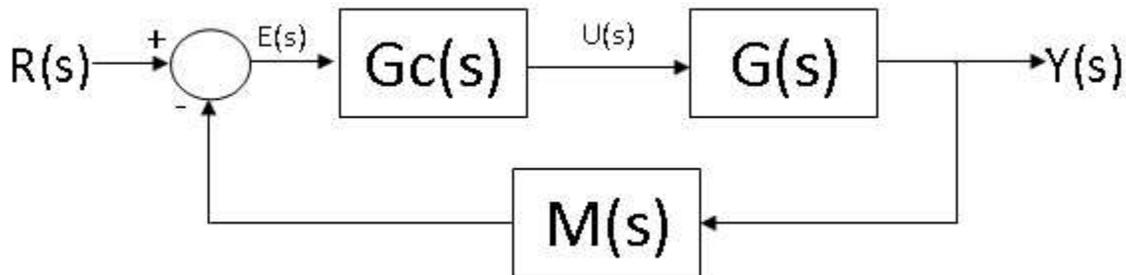


Figura 3. Diagrama de bloques de control en sistema por Laplace

Donde:

- $R(s)$  Es la referencia transformada al plano propuesto por Laplace.
- $E(s)$  Es el Error en Laplace.
- $U(s)$  Es la salida de control en Laplace.
- $Y(s)$  Es la salida del sistema ya controlada.
- $M(s)$  Indicado únicamente como sistema de medición para retroalimentación del control.
- $G_c(s)$  Es el control del sistema G en Laplace.

- $G(s)$  Sistema en Laplace.

Un sistema de control puede ser únicamente proporcional, puede ser proporcional - derivativo, proporcional - integral, o proporcional - integral - derivativo (PID).

Los nombres anteriores corresponden a una ganancia “K”, a la cual se le modificará su valor para cada punto, ya sea la ganancia proporcional ( $K_p$ ), la ganancia integral ( $K_i$ ) o la ganancia derivativa ( $K_d$ ).

Aplicar cada una de estas ganancias se verá afectado su resultado por el error dado en un tiempo “t” de la siguiente forma:

$$u(t) = K_p[e(t)]$$

$$u(t) = K_i[e(t)] = \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

$$u(t) = K_d[e(t)] = T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Para el caso de las ganancias integral y derivativa, se utiliza una constante de tiempo “T”, que es directamente quien opera para trabajar con la integral o la derivada del error. Siendo de aquí de donde viene el nombre de las ganancias integral y derivativa. En tanto que la proporcional se observa únicamente es afectado por la proporción directa de un valor al operar multiplicando el error en el tiempo.

Para el caso del controlador PID, se considera que es una suma de las tres ganancias. Pero la integral y la derivativa se verán directamente afectadas por el valor de la ganancia proporcional.

Se puede representar el diagrama de bloques para el controlador  $G_c(s)$  con (Ecuación 1) que representa al control PID.

$$u(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

Ecuación 1 Ecuación de control PID

Utilizando el programa de computadora Matlab, y su herramienta para modelado matemático “simulink”, se utilizará para herramienta de trabajo para trasladar la (Ecuación 1) con el fin de que sea más entendible como opera (Figura 4).

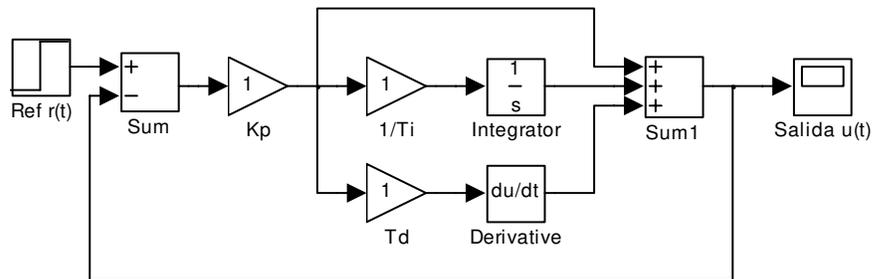


Figura 4. Diagrama de bloques de la ecuación que modela el control PID

A partir de lo anterior, se puede comprender el funcionamiento del control PID agregado a un dispositivo de control, tal es el caso de un PLC.

Mediante un tipo de programación definida por el fabricante del controlador, se puede hacer un control a lazo cerrado de un sistema cualquiera, a través de un modulo de entradas y salidas analógicas.

La ventaja de realizar este tipo de control PID en un PLC, resulta sencillo, ya su construcción física del aparato, según su modelo, puede ser acoplado muy fácilmente al proceso, agregando una serie de componentes.

Por tales motivos un PLC es muy utilizado para controlar procesos críticos en ambientes posiblemente extremos o poco accesibles para el ser humano.

## **ii. DISPOSITIVOS DE CONTROL**

En esta sección se hablará un poco acerca de la historia de los dispositivos que se han utilizado para aplicar control a un proceso o sistema de manera breve, se hablará de los dispositivos más actuales y se hará énfasis en el PLC como dispositivo de control que servirá para presentar la tesina.

Como se ha notado, el control ha sido una parte fundamental para lograr la automatización de procesos, haciendo éstos mucho más eficientes, rápidos, seguros, con una minimización importante para cometer errores entre otros factores.

La evolución tecnológica ha, y seguirá permitiendo el continuo avance científico con respecto al control.

Desde la invención del transistor, el aprovechamiento de materiales intrínsecos, la evolución de la computadora permiten en la actualidad el desarrollo amplio para el control automático.

Se puede encontrar en el mercado mundial gran cantidad de aparatos fabricados para aplicaciones específicas de control, tal como temperatura, humedad, presión de fluidos etc. Todos éstos prácticamente para conectarse a la corriente eléctrica y comenzar a funcionar según estándares del fabricante.

Existen dispositivos de nivel de operación más complejo, donde es necesario no solo un operador para cablear y poner a funcionar un dispositivo. Estos son sencillamente controladores como PIC, dsPIC, GAL's, FPGA's, dispositivos de niveles bajos de programación, donde el usuario realmente pone "el ingenio para crear" una aplicación completamente controlada.

También a estos se les puede encontrar características de operación determinadas por estándares internacionales como los que proveen organizaciones como IEEE, ISO entre otras.

A estos dispositivos una persona especializada, en algunos casos tendrá que habilitar incluso su propio entorno de programación.

Se puede encontrar dispositivos similares inmersos dentro de una tarjeta electrónica de un PLC, el cual es también un controlador, aplicado directamente a las aplicaciones industriales. Con mucha flexibilidad para controlar casi cualquier proceso.

Los fabricantes de PLC's desarrollan sus propios ambientes de programación, utilizando una lógica mucho más simple que los controladores antes mencionados, y utilizando una programación de más alto nivel, para que personas no especializadas puedan comprender la lógica aplicada al proceso.

Los PLC's se les puede encontrar de diferentes tamaños, y capacidades, según su aplicación utilizando diversos protocolos de comunicación para muestreo de los procesos. Los hay resistentes a humedad, rayos solares, altas y bajas temperaturas, bajo ambientes sucios y de extremas vibraciones.

En aplicaciones sencillas el Procesador del PLC puede estar conectado a una RED de comunicación, y depender de otros dispositivos, o estar funcionando autónomamente en una rutina continua.

A estas Redes se les conoce como protocolos de comunicación, y permite conectar diferentes procesadores para que puedan compartir información entre ellos de determinadas formas y métodos según el protocolo que se utilice.

### **iii. pH**

El pH es una magnitud de mucha importancia en un sinnúmero de procesos biotecnológicos, como por ejemplo en la neutralización de alimentos. También ha cobrado gran relevancia en la minería y en el control de la contaminación, como es el caso de la neutralización de desechos industriales. El control de esta variable es en general difícil de realizar debido a la dependencia altamente no lineal entre los reactivos que ingresan al sistema y el pH que se establece. Esta no linealidad ya aparece en la definición, puesto que  $\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$  y se ve reflejada en la forma

de la Curva de Titulación. Además, este sistema en ocasiones presenta un comportamiento de fase no mínima, de ahí que a veces al disminuir el flujo de algún reactivo se produce una disminución del pH y en otras al aumentar este flujo se produce de igual modo una disminución del pH.

En los últimos 20 años se ha publicado una cantidad importante de trabajos relacionados con la modelación y el control de pH de soluciones. Con respecto a la modelación del establecimiento del pH en soluciones, es importante mencionar el trabajo presentado por McAvoy et al. en [1] y [2], en el que se presenta un modelo para la neutralización de un ácido débil y una base fuerte, basado en los principios de conservación de masa en condiciones de equilibrio y la electroneutralidad de las soluciones. Posteriormente Jacobs et al. [3] han utilizado estos mismos principios para los casos en que se tiene un ácido y una base fuerte. Gustafsson y Waller [7], así como también Wright y Kravaris [11], han extendido estos resultados al caso de la modelación de sistemas en los cuales existe más de un ácido y/o base ya sean fuertes o débiles. Pajunen [6] ha modelado el proceso de establecimiento del pH como un modelo de Wiener, esto es, una parte dinámica lineal seguida por una característica no lineal estática representada por una aproximación polinomial por tramos.

El diseño de algoritmos para controlar pH generalmente toma en cuenta la característica no lineal del proceso. Esta no linealidad puede ser vista como una ganancia variable en el tiempo, lo cual conduce a controladores lineales adaptables. Hay trabajos donde se adapta los parámetros de un modelo de primer orden para mantener la ganancia de lazo cerrado constante. Wright y Kravaris [11] definen un objetivo de control equivalente al pH y formulan un controlador lineal y no adaptable en términos de este nuevo objetivo. También se han diseñado controladores no lineales tanto adaptables como no adaptables. En [7] se utiliza una formulación matricial haciendo balances de masas de todos los ácidos y bases que reaccionan, considerando además la estequiometría del sistema. Efectuando transformaciones lineales al vector de concentraciones, se llega también a una formulación general pero haciendo uso de variables que son independientes de la reacción química. Posteriormente se realiza una estimación en línea de estas variables utilizando el método de mínimos cuadrados y luego se utiliza un controlador PID que hace uso de estas estimaciones.

En este trabajo se realiza un estudio del control de pH empleando una formulación de controladores lineales convencionales y adaptables, a nivel de simulaciones. Para ello se efectúa la modelación del proceso utilizando un modelo dinámico bilineal seguido por una característica no lineal [7], [11]. En el modelo se han incorporado términos que dan cuenta de la dinámica no modelada del proceso, como es la absorción de dióxido de carbono o bien el considerar que el agua utilizada no es pura. Se logra así modelar el funcionamiento de una planta experimental en donde se pueda además controlar el pH de alguna solución. Se estudiará en particular la neutralización de hidróxido de sodio (NaOH) con ácido acético (HAc). Para su control se utilizan diversas estrategias, comenzando con un control PID digital. En una siguiente etapa se programan estrategias de control avanzado tales como controladores adaptables por referencia a modelo (CARM).

#### a) DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

El proceso consiste en un estanque o reactor de vidrio R, con tres entradas. Una corresponde al flujo de agua potable, la segunda es el flujo de una solución de hidróxido de sodio que actúa como una perturbación, y por último se utiliza un flujo de una solución de ácido acético como variable de control. El flujo de ácido se regula a través de una válvula solenoide V variando el tiempo que permanece abierta. En la (Figura 5) se muestra un diagrama del sistema a controlar.

$$V_1 \frac{d}{dt} X_1 = F_1 C_1 - (F_1 + F_2) X_1,$$

$$V_2 \frac{d}{dt} X_2 = F_2 C_2 - (F_1 + F_2) X_2,$$

Por ser el flujo de agua potable mayor que el del ácido y el de la base, la constante de tiempo del proceso depende principalmente del primer flujo y del volumen que contiene el reactor. Se tiene además un retardo en el sistema que depende fundamentalmente del tiempo que demoran los flujos en mezclarse en forma homogénea y del tiempo que se demora el sensor para obtener una medición del pH. Como se mencionó anteriormente, la acción de control se hará en base al flujo de ácido que se agregará al reactor en un período de tiempo. Para que este flujo sea

proporcional al tiempo de apertura de la válvula se ha incorporado un sistema de rebalse que mantiene una presión constante a la entrada de la válvula V. Este sistema consta de 2 contenedores, el principal P está ubicado en la parte inferior de la planta y cuya salida está conectada a una bomba eléctrica B, la cual tiene por objetivo hacer circular el ácido hasta un segundo contenedor S ubicado en la parte superior. La salida del estanque S se comunica con el vaso dosificador D el cual está permanentemente rebalsando para lograr de este modo un volumen constante de ácido en D. El ácido rebalsado es enviado al contenedor principal P volviéndose a repetir el ciclo. De esta forma, al mantener fijo el volumen de ácido en D, este ejercerá una presión constante a la entrada de la válvula V, produciendo con ello un flujo constante a la salida del actuador. El reactor de vidrio R, posee dos tuberías para el desagüe. La que está en la parte superior se utiliza en caso que el volumen de la solución aumente hasta su límite máximo.

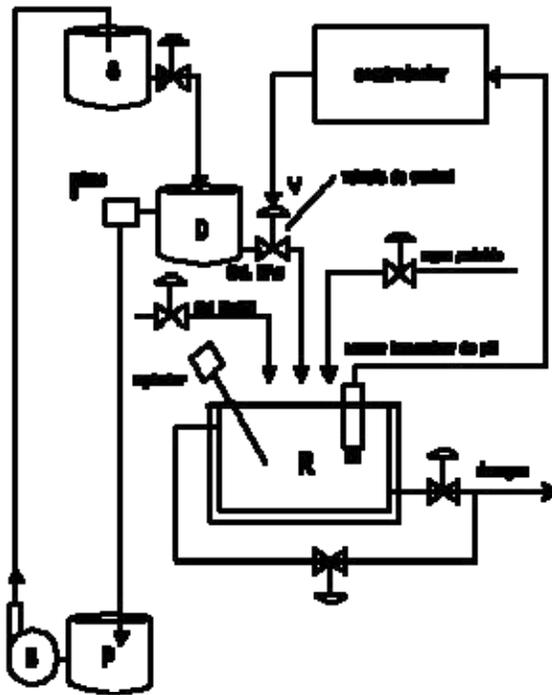


Fig. 5. Diagrama esquemático de la planta de pH

## b) ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DE pH.

En el control de la planta experimental de este estudio se ha utilizado la estrategia de control de ganancia programada (CGP). A continuación se describe en forma muy breve las diferentes características del controlador empleado en el estudio.

El control análogo se realiza utilizando un controlador Micro Scan, con el esquema representado en la (Figura 6).

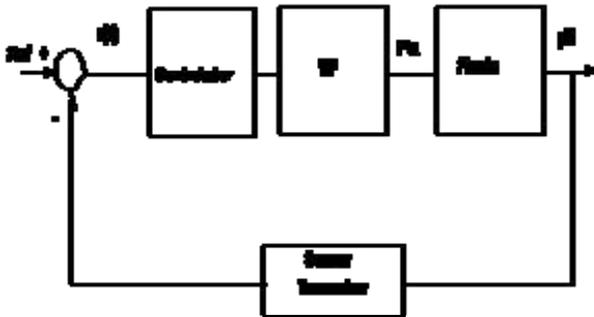


Fig. 6. Esquema de control retroalimentado.

La señal proveniente del sensor transmisor de pH (señal de corriente en el rango 4-20 [mA]) es ingresada al controlador junto con la referencia. Para efectos de realizar control digital, la salida del controlador (señal de corriente en el rango 4-20 [mA]) es enviada al computador a través del módulo de entrada análogo digital AD3T del OPTO22. En el computador es donde se efectúa finalmente la conversión de corriente a frecuencia (tiempo de apertura de la válvula solenoide).

Esta señal se envía al módulo de salida discreta OAC5A del OPTO22, el cual es un switch que permite conectar 220 [V] a la válvula solenoide durante el tiempo de apertura especificado por el controlador cada 20 [seg].

Para efectos de comparación es útil también poder efectuar un control PID. En este caso la función de transferencia utilizada por el controlador Micro Scan es del tipo. Los parámetros  $K_c$ ,

$T_i$ ,  $T_d$  definen las acciones proporcional, integral y derivativa respectivamente del controlador y toman valores específicos para cada experimento que se realice.

La sintonía de los parámetros del PID análogo se realiza utilizando los criterios de Ziegler-Nichols [9], de Smith-Corripio [8], minimización del criterio integral del error (IAE, ISE, ITAE) [9] y el método de control por modelo interno (IMC) [5].

El procedimiento de ajuste de los parámetros del controlador que se utiliza en este estudio consta de 3 etapas.

- i) Determinar un modelo que represente el comportamiento dinámico del proceso en el punto de operación, el que se determina a partir de leyes físicas y químicas o bien a partir de resultados experimentales como son las curvas de reacción.
- ii) Determinar los parámetros del controlador de acuerdo a objetivos del lazo de control, sus características y las reglas de ajuste necesarias.
- iii) Definir el criterio de comportamiento de la planta para evaluar la calidad del sistema de control

Como se ha visto en la Sección 2, las no linealidades de la planta se ven reflejadas en régimen permanente en que la ganancia del proceso no es constante sino que varía según el punto de operación en que se encuentre. En caso que la variación de la ganancia sea de forma conocida, es posible reducir los efectos de las no linealidades cambiando los parámetros del controlador en función de dicha ganancia. Un criterio utilizado es que la ganancia total de la planta en lazo cerrado permanezca constante en un determinado valor [10]. Para lograr esto es necesario que la ganancia del controlador varíe en igual magnitud pero de efecto opuesto a la ganancia del proceso.

El problema del control por ganancia programada es que está basado en un buen conocimiento de la planta [12]. En nuestro caso, la ganancia en cada punto de operación debe estar bien determinada.

Una de las desventajas de este método es que las ganancias no son accesibles directamente y se deben estimar a partir de la medición de pH, es decir se tendrá una curva que relaciona el pH con la ganancia. De este modo se dispondrá de los valores que deben tomar los parámetros del controlador para cada punto de operación de la planta de modo de mantener la ganancia de lazo cerrado constante.

Por lo señalado anteriormente el ajuste de los parámetros del controlador puede ser visto como si se realizara en lazo abierto, provocando con ello una limitante al controlador, ya que puede haber perturbaciones que modifiquen en forma importante la curva ganancia-pH, las cuales no podrán ser compensadas por el controlador.

En la (Figura 7) se muestra el diagrama de control empleando este controlador.

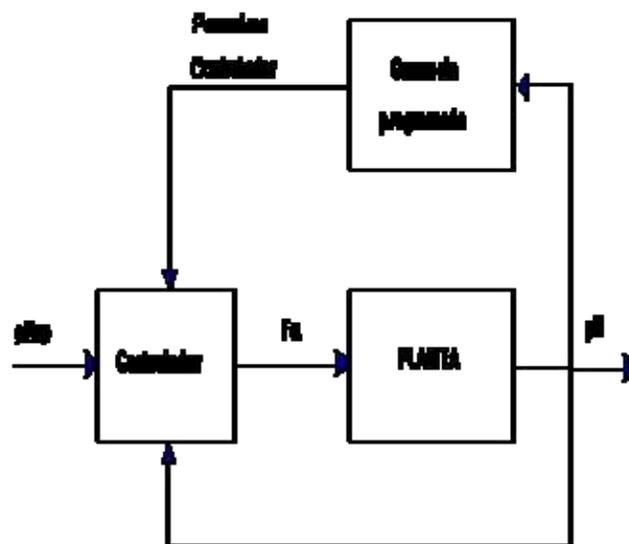


Fig. 7. Esquema de control por ganancia programada.

En las pruebas de validación estática del modelo se ha obtenido el pH en función del ácido agregado para diferentes concentraciones de hidróxido de sodio. A partir de ellas es posible obtener la gráfica de la ganancia incremental de la planta en función del pH. En los experimentos en lazo abierto se ha utilizado agua potable como flujo de entrada, y en cada experimento se agrega ácido de modo que el pH pueda variar entre 5 y 8. Los resultados obtenidos se pueden encontrar en [4]. El modelo que se ajusta a la curva obtenida experimentalmente está determinado por

$$K_p = 0,0833 \text{ pH} - 0,175 \quad \text{si } \text{pH} \in [5..6,9] ,$$

$$K_p = 0,433 \text{ pH} - 2,99 \quad \text{si } \text{pH} \in [6,9..7,2] .$$

Se observa que existe un punto de quiebre a partir del cual la ganancia aumenta considerablemente (alrededor de  $\text{pH} = 6.9$ ). Como se mencionó anteriormente la ganancia del controlador debe variar en forma opuesta tal como se muestra en la (Figura 8).

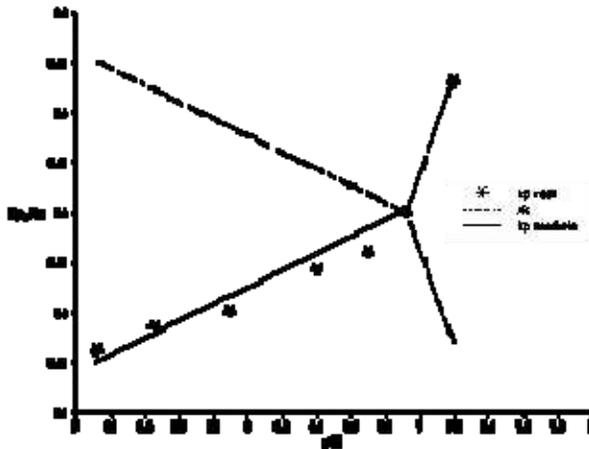


Fig. 8. Gráfica de la ganancia del controlador y del proceso en función del pH.

$$K_p = -0,10833 \text{ pII} + 0,175 \quad \text{si } \text{pII} \in [5..6,9] .$$

El modelo que entrega la ganancia programada global para el rango de pH entre 5 y 6.9 se puede escribir como:

Dado que sobre pH 8 no es posible obtener la ganancia de la planta ya que en este caso el flujo de agua tiene un pH inicial de aproximadamente 8 y el flujo de hidróxido de sodio sólo actúa como perturbación lo que no permite tener un flujo alcalino en condiciones nominales, se estudian 2 posibilidades para obtener dichas ganancias de la planta. La primera, consiste en mantener el punto de quiebre y tener otra recta, cuya pendiente tenga un signo opuesto a la ganancia de la planta y posteriormente saturar la ganancia del controlador cercana a cero. La segunda alternativa corresponde a considerar una ganancia, ya sea de la planta o el controlador, simétrica con respecto a pH 7.2. Estas dos alternativas son graficadas en la (Figura 9).

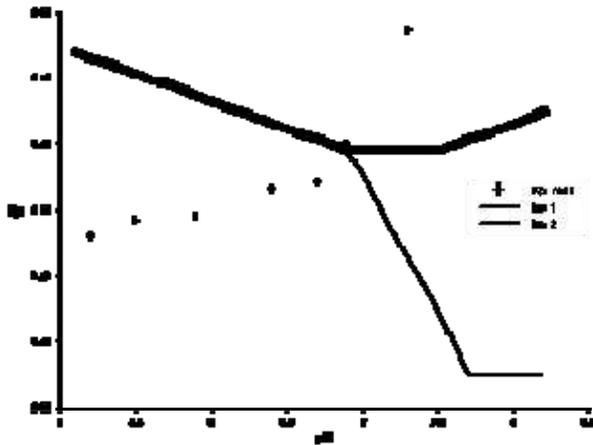


Fig. 9. Ganancia del controlador para todo el rango de pH.

Los modelos obtenidos para las 2 alternativas mencionadas anteriormente son mostrados a continuación:

$$K_c = \begin{cases} -0,08889 \text{ pH} + 1,0034 & \text{pH} \in [5..6,9] \\ 0,39 & \text{pH} \in [6,9..7,5] \\ 0,08889 \text{ pH} - 0,276 & \text{pH} \in [7,5..14] \end{cases}$$

#### iv. TEMPERATURA

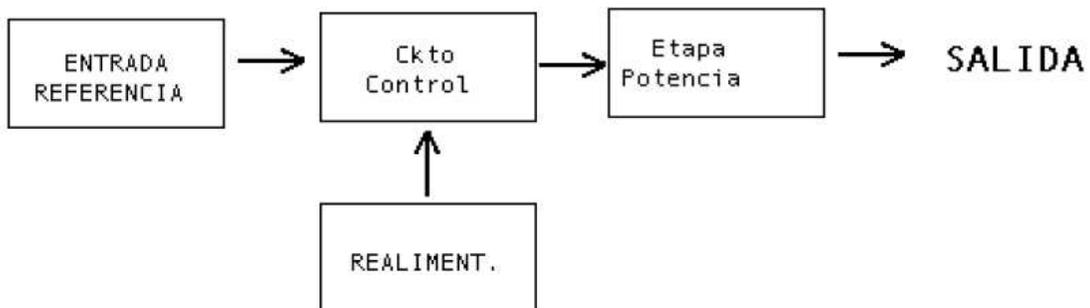
Como podríamos mantener, la temperatura adecuada en un Horno para un tratamiento de un mineral en una refinería, o como podríamos hacer un control de un sistema de calefacción. Es aquí donde entran a tallar los controles que rigen el comportamiento de la temperatura.

Un sistema de control de temperatura, obtiene la temperatura del ambiente a medir mediante un sensor, y esta señal es tratada, ya sea digital o análogamente (según el tipo de control a tratar). Y luego pasa a un sistema de control el cual activa, desactiva, aumenta, o disminuye el sistema que estará encargado de mantener la temperatura. Por ejemplo, para el caso de un Horno, si la temperatura es mayor, disminuirá la potencia del horno, y si es demasiado bajo, aumentará esta. Vamos a ver un sistema de control todo o nada dado por una Histéresis debido a una entrada de referencia y la señal que viene del sensor.

##### a) PROCESO

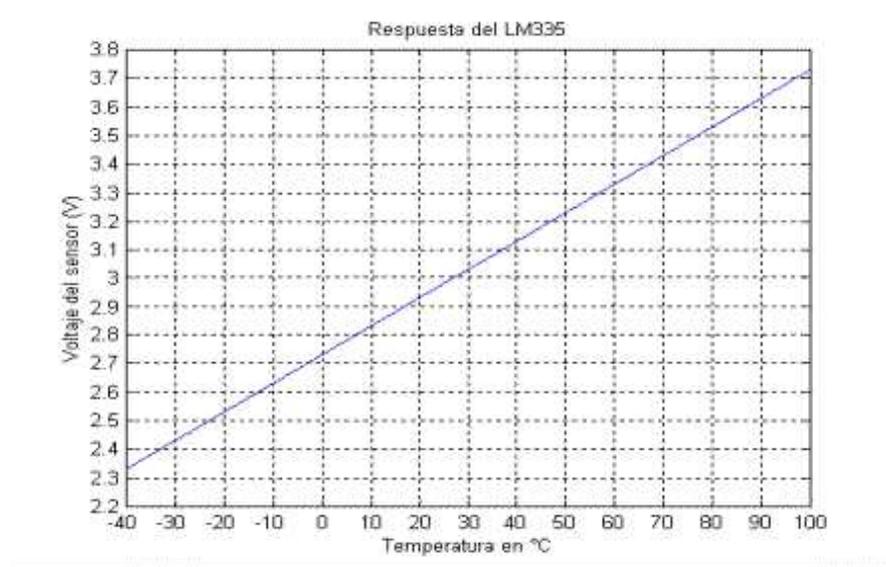
Para la realización de este proyecto, hemos separado, el sistema en 4 Partes:

- Realimentación
- Entrada de referencia
- Ck to de Control
- Etapa de Potencia

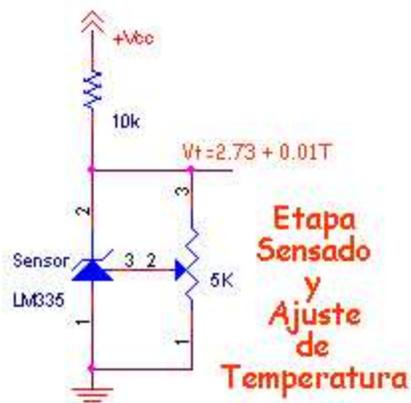


## b) REALIMENTACION

Aquí hemos usado a un sensor, el integrado LM335, el cual tiene como característica que su valor estándar para 0 °C es de 2.73V, y va incrementando 10 m V/ °C, según se observa en la grafica, que se muestra a continuación que fue sacada del Datasheet de sensor..



Aquí lo primero que hacemos es acondicionar, para lo que usamos un potenciómetro de 5K, como se observa:



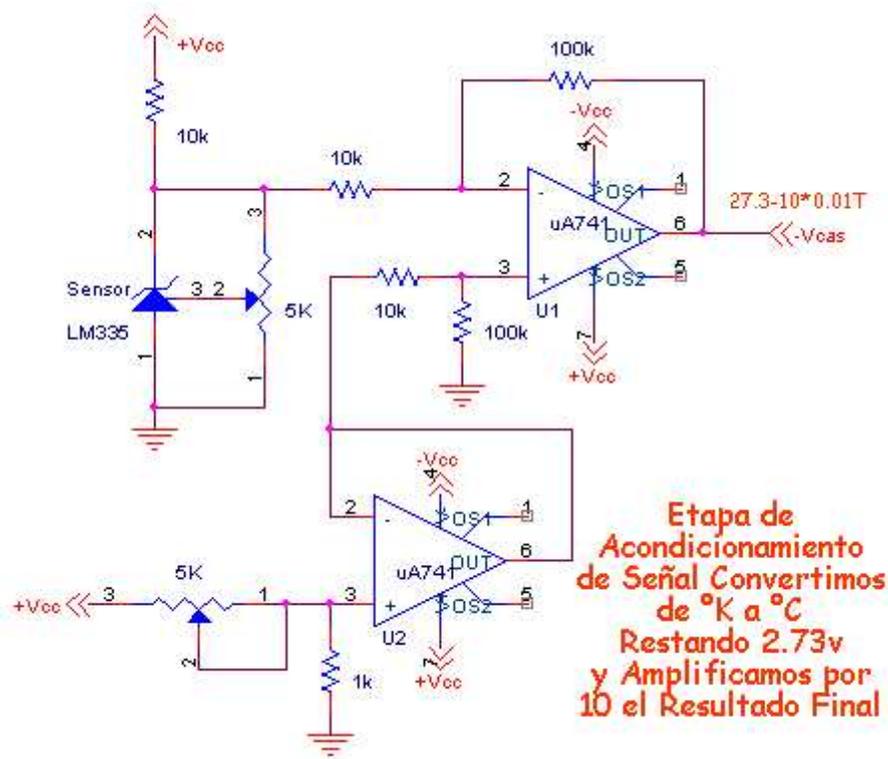
Esto lo hacemos con la finalidad de que tengamos la salida en el valor de temperatura medio ambiente.

Aproximadamente 3v, esto lo comprobamos con un termómetro.

Aquí tenemos  $V_T = 2.73 + 0.01T$ , T temperatura

Luego de tener calibrado el sensor lo pasamos por una etapa Amplificadora Restadora de 27.3, para luego así restarle los 273 °K. Para igualarlo a °C

Para esta Parte hemos usado el siguiente Ckto.



$$\text{Donde: } V_{cas} = -\left(\frac{100K}{10K}V_T - 2.73 \times \frac{100K}{10K}\right) = 27.3 - 0.1T - 27.3$$

### c) ENTRADA DE REFERENCIA

Vamos a controlar que la temperatura este entre 25°C a 35°C, según lo indiquemos con un potenciómetro, como nuestros valores de referencia son 2.5v a 3.5v, entonces tenemos el Siguiete Ckto.

Para hallar los valores de 48K y 9.5K, he aplicado 2 Criterios, teniendo que Pot=5K cuando:

El Pot esta es Min, entonces  $V_{ref} = 2.5v$

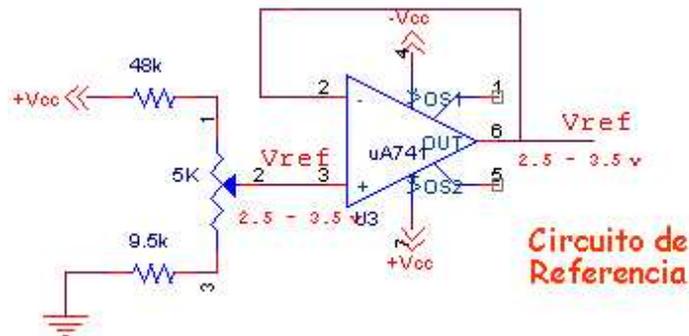
$$\text{Entonces: } V_{ref} = 2.5 = \frac{RD1}{RD2 + RD1}, \text{ lo que nos da que } RD2 = 5RD1$$

Luego si Pot es Max, entonces  $V_{ref}=3.5v$

$$V_{ref} = 3.5V = \frac{(RD1 + 1K)}{RD1 + RD2 + 5K}, \text{ de donde nos sale que } RD1 \approx 9.5K, \text{ entonces } RD2=48K$$

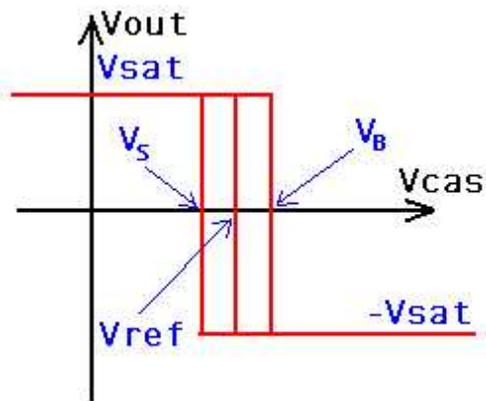
Ahora para evitar que la histéresis sea afectada, por la resistencias  $RD1$  y  $RD2$ , separamos esta parte del Ckto con un Amplificador Seguidor de Ganancia 1.

Quedando el Ckto de Entrada de Referencia de la siguiente manera



#### d) CIRCUITO DE CONTROL POR HISTERESIS

Ya que tenemos las 2 entradas, la del  $V_{cas}$  y la de referencia, los comparamos por un Ckto de Histéresis, para que según el Voltaje de Referencia suceda



donde:

$$V_H = V_B - V_S$$

$$V_{ref} = \frac{V_S + V_B}{2}$$

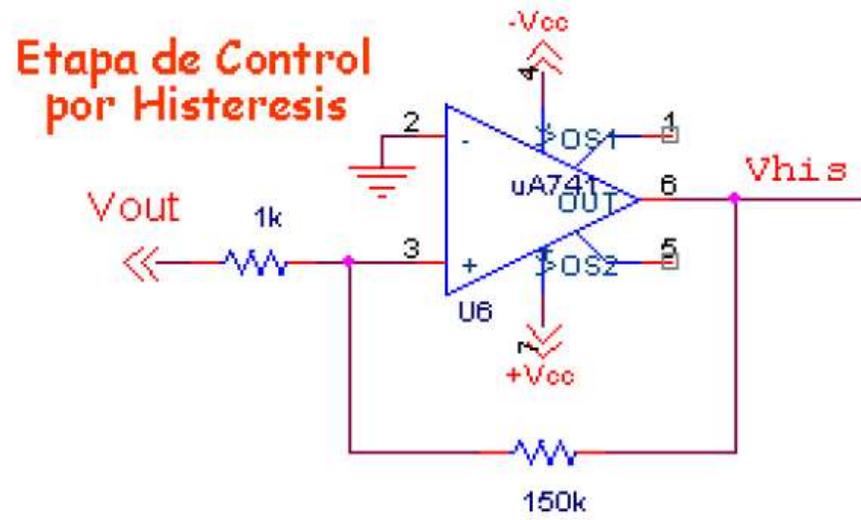
Para este diseño vamos hacer que el error sea de  $\pm 20\%$  T°C.

- Entonces  $V_H = 20\%(\text{Rango}) = 20\%(1V) = 200\text{mV}$ , tomando como  $V_{ref} = 0$
- Entonces  $V_B = +100\text{mV}$ ,  $V_S = -100\text{mV}$
- Donde la relación entre las 2 resistencias es de  $n$  y esta es igual:

$$n = \frac{V_{sat} - (-V_{sat})}{V_H} = \frac{2V_{sat}}{200\text{mV}} = 10 \times V_{sat} = 143.7$$

Ya que  $V_{sat} = 14.37$  según Datasheet para UA741

- Entonces las Resistencias serian de  $1\text{K}$  y  $143.7\text{K}$  pero como  $143.7\text{K}$  no es comercial hemos usado  $150\text{K}$ .



Donde la Salida sera de 14.37 o -14.37.

## 5. INTRODUCCIÓN A ETHERNET INDUSTRIAL.

Ethernet (también conocido como *estándar IEEE 802.3*) es un estándar de transmisión de datos para redes de área local que se basa en el siguiente principio:

- Todos los equipos en una red Ethernet están conectados a la misma línea de comunicación compuesta por cables cilíndricos.

### i. HISTORIA.

En 1970, mientras Abramson montaba la red ALOHA en Hawái, un estudiante recién graduado en el MIT llamado Robert Metcalfe se encontraba realizando sus estudios de doctorado en la Universidad de Harvard trabajando para ARPANET, que era el tema de investigación candente en aquellos días. En un viaje a Washington, Metcalfe estuvo en casa de Steve Crocker (el inventor de los RFC's de Internet) donde éste lo dejó dormir en el sofá. Para poder conciliar el sueño Metcalfe empezó a leer una revista científica donde encontró un artículo de Norm Abramson acerca de la red Aloha. Metcalfe pensó cómo se podía mejorar el protocolo utilizado por Abramson, y escribió un artículo describiendo un protocolo que mejoraba sustancialmente el rendimiento de Aloha. Ese artículo se convertiría en su tesis doctoral, que presentó en 1973. La idea básica era muy simple: las estaciones antes de transmitir deberían detectar si el canal ya estaba en uso (es decir si ya había 'portadora'), en cuyo caso esperarían a que la estación activa terminara. Además, cada estación mientras transmitiera estaría continuamente vigilando el medio físico por si se producía alguna colisión, en cuyo caso se pararía y retransmitiría más tarde. Este protocolo MAC recibiría más tarde la denominación Acceso Múltiple con Detección de Portadora y Detección de Colisiones, o más brevemente CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection).

En 1972 Metcalfe se mudó a California para trabajar en el Centro de Investigación de Xerox en Palo Alto llamado Xerox PARC (Palo Alto Research Center). Allí se estaba diseñando lo que se consideraba la 'oficina del futuro' y Metcalfe encontró un ambiente perfecto para desarrollar sus inquietudes. Se estaban probando unas computadoras denominadas Alto, que ya disponían

de capacidades gráficas y ratón y fueron consideradas los primeros ordenadores personales. También se estaban fabricando las primeras impresoras láser. Se quería conectar las computadoras entre sí para compartir ficheros y las impresoras. La comunicación tenía que ser de muy alta velocidad, del orden de megabits por segundo, ya que la cantidad de información a enviar a las impresoras era enorme (tenían una resolución y velocidad comparables a una impresora láser actual). Estas ideas que hoy parecen obvias eran completamente revolucionarias en 1973.

A Metcalfe, el especialista en comunicaciones del equipo con 27 años de edad, se le encomendó la tarea de diseñar y construir la red que uniera todo aquello. Contaba para ello con la ayuda de un estudiante de doctorado de Stanford llamado **David Boggs**. Las primeras experiencias de la red, que denominaron 'Alto Aloha Network', las llevaron a cabo en 1972. Fueron mejorando gradualmente el prototipo hasta que el 22 de mayo de 1973 Metcalfe escribió un memorándum interno en el que informaba de la nueva red. Para evitar que se pudiera pensar que sólo servía para conectar computadoras Alto cambió el nombre de la red por el de Ethernet, que hacía referencia a la teoría de la física hoy ya abandonada según la cual las ondas electromagnéticas viajaban por un fluido denominado éter que se suponía llenaba todo el espacio (para Metcalfe el 'éter' era el cable coaxial por el que iba la señal). Las dos computadoras Alto utilizadas para las primeras pruebas de Ethernet fueron rebautizadas con los nombres Michelson y Morley, en alusión a los dos físicos que demostraron en 1887 la inexistencia del éter mediante el famoso experimento que lleva su nombre.

La red de 1973 ya tenía todas las características esenciales de la Ethernet actual. Empleaba CSMA/CD para minimizar la probabilidad de colisión, y en caso de que ésta se produjera se ponía en marcha un mecanismo denominado retroceso exponencial binario para reducir gradualmente la 'agresividad' del emisor, con lo que éste se adaptaba a situaciones de muy diverso nivel de tráfico. Tenía topología de bus y funcionaba a 2,94 Mb/s sobre un segmento de cable coaxial de 1,6 km de longitud. Las direcciones eran de 8 bits y el CRC de las tramas de 16 bits. El protocolo utilizado al nivel de red era el PUP (Parc Universal Packet) que luego evolucionaría hasta convertirse en el que luego fue XNS (Xerox Network System), antecesor a su vez de IPX (Netware de Novell).

En vez de utilizar el cable coaxial de 75 ohms de las redes de televisión por cable se optó por emplear cable de 50 ohms que producía menos reflexiones de la señal, a las cuales Ethernet era muy sensible por transmitir la señal en banda base (es decir sin modulación). Cada empalme del cable y cada 'pincho' vampiro (transceiver) instalado producía la reflexión de una parte de la señal transmitida. En la práctica el número máximo de 'pinchos' vampiro, y por tanto el número máximo de estaciones en un segmento de cable coaxial, venía limitado por la máxima intensidad de señal reflejada tolerable.

En 1975 Metcalfe y Boggs describieron Ethernet en un artículo que enviaron a Communications of the ACM (Association for Computing Machinery), publicado en 1976. En él ya describían el uso de repetidores para aumentar el alcance de la red. En 1977 Metcalfe, Boggs y otros dos ingenieros de Xerox recibieron una patente por la tecnología básica de Ethernet, y en 1978 Metcalfe y Boggs recibieron otra por el repetidor. En esta época todo el sistema Ethernet era propiedad de Xerox.

Conviene destacar que David Boggs construyó en el año 1975 durante su estancia en Xerox PARC el primer router y el primer servidor de nombres de la Internet. La primera versión fue un intento de estandarizar Ethernet aunque hubo un campo de la cabecera que se definió de forma diferente, posteriormente ha habido ampliaciones sucesivas al estándar que cubrieron las ampliaciones de velocidad (Fast Ethernet, Gigabyte Ethernet y el de 10 Gigabytes), redes virtuales, hubs, conmutadores y distintos tipos de medios, tanto de fibra óptica como de cables de cobre (tanto par trenzado como coaxial).

Los estándares de este grupo no reflejan necesariamente lo que se usa en la práctica, aunque a diferencia de otros grupos este suele estar cerca de la realidad.<sup>viii</sup>

## ii. VERSIONES.

Versiones de 802.3

Estándar	Ethernet	Fecha	Descripción
----------	----------	-------	-------------

- Ethernet experimental 1972 (patentado en 1978) 2,85 Mbit/s sobre cable coaxial en topología de bus.
- Ethernet II (DIX v2.0) 1982 10 Mbyte/s sobre coaxial fino (thinnet) - La trama tiene un campo de tipo de paquete. El protocolo IP usa este formato de trama sobre cualquier medio.
- IEEE 802.3 1983 10BASE5 10 Mbyte/s sobre coaxial grueso (thicknet). Longitud máxima del segmento 500 metros - Igual que DIX salvo que el campo de Tipo se substituye por la longitud.
- 802.3a 1985 10BASE2 10 Mbit/s sobre coaxial fino (thinnet o cheapernet). Longitud máxima del segmento 185m
- 802.3b 1985 10BROAD36
- 802.3c 1985 Especificación de repetidores de 10 Mbit/s
- 802.3d 1987 FOIRL (Fiber-Optic Inter-Repeater Link) enlace de fibra óptica entre repetidores.
- 802.3e 1987 1BASE5 o StarLAN
- 802.3i 1990 10BASE-T 10 Mbit/s sobre par trenzado no apantallado (UTP). Longitud máxima del segmento 100 metros.
- 802.3j 1993 10BASE-F 10 Mbit/s sobre fibra óptica. Longitud máxima del segmento 1000 metros.
- 802.3u 1995 100BASE-TX, 100BASE-T4, 100BASE-FX Fast Ethernet a 100 Mbit/s con auto-negociación de velocidad.
- 802.3x 1997 Full Duplex (Transmisión y recepción simultáneos) y control de flujo.
- 802.3y 1998 100BASE-T2 100 Mbit/s sobre par trenzado no apantallado(UTP). Longitud máxima del segmento 100 metros
- 802.3z 1998 1000BASE-X Ethernet de 1 Gbit/s sobre fibra óptica.
- 802.3ab 1999 1000BASE-T Ethernet de 1 Gbit/s sobre par trenzado no apantallado

- 802.3ac 1998 Extensión de la trama máxima a 1522 bytes (para permitir las "Q-tag") Las Q-tag incluyen información para \*802.1Q VLAN y manejan prioridades según el estándar 802.1p.
- 802.3ad 2000 Agregación de enlaces paralelos (Trunking).
- 802.3ae 2003 Ethernet a 10 Gbit/s ; 10GBASE-SR, 10GBASE-LR
- IEEE 802.3af 2003 Alimentación sobre Ethernet (PoE).
- 802.3ah 2004 Ethernet en la última milla.
- 802.3ak 2004 10GBASE-CX4 Ethernet a 10 Gbit/s sobre cable bi-axial.
- 802.3an 2006 10GBASE-T Ethernet a 10 Gbit/s sobre par trenzado no apantallado (UTP)
- 802.3ap en proceso (draf) Ethernet de 1 y 10 Gbit/s sobre circuito impreso.
- 802.3aq en proceso (draf) 10GBASE-LRM Ethernet a 10 Gbit/s sobre fibra óptica multimodo.
- 802.3ar en proceso (draf) Gestión de Congestión
- 802.3as en proceso (draf) Extensión de la trama

### iii. **CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO.**

Todos los equipos de una red Ethernet están conectados a la misma línea de transmisión y la comunicación se lleva a cabo por medio de la utilización un protocolo denominado *CSMA/CD* (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect* que significa que es un protocolo de acceso múltiple que monitorea la portadora: *detección de portadora* y *detección de colisiones*).

Con este protocolo cualquier equipo está autorizado a transmitir a través de la línea en cualquier momento y sin ninguna prioridad entre ellos. Esta comunicación se realiza de manera simple:

- Cada equipo verifica que no haya ninguna comunicación en la línea antes de transmitir.

- Si dos equipos transmiten simultáneamente, entonces se produce una colisión (o sea, varias tramas de datos se ubican en la línea al mismo tiempo).
- Los dos equipos interrumpen su comunicación y esperan un período de tiempo aleatorio, luego una vez que el primero ha excedido el período de tiempo, puede volver a transmitir.

Este principio se basa en varias limitaciones:

- Los paquetes de datos deben tener un tamaño máximo.
- Debe existir un tiempo de espera entre dos transmisiones.

El tiempo de espera varía según la frecuencia de las colisiones:

- Luego de la primera colisión, un equipo espera una unidad de tiempo.
- Luego de la segunda colisión, un equipo espera dos unidades de tiempo.
- Luego de la tercera colisión, un equipo espera cuatro unidades de tiempo.
- ... Por supuesto, con una cantidad menor de tiempo aleatorio adicional.

#### iv. **CONEXIONES SIMPLES, SEMIDÚPLEX Y DÚPLEX TOTALES**

Existen 3 modos de transmisión diferentes caracterizados de acuerdo a la dirección de los intercambios:

##### a. **UNA CONEXIÓN SIMPLE**

Es una conexión en la que los datos fluyen en una sola dirección, desde el transmisor hacia el receptor. Este tipo de conexión es útil si los datos no necesitan fluir en ambas direcciones (por ejemplo: desde el equipo hacia la impresora o desde el ratón hacia el equipo...)(Figura 10).

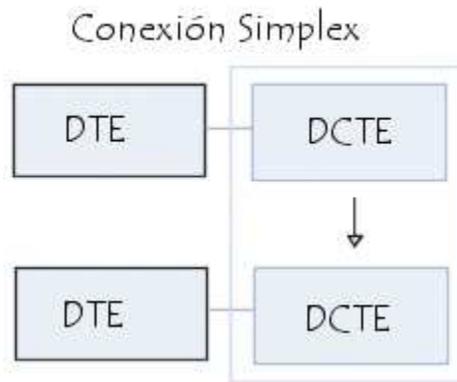


Figura 10. Conexión Simple o Simplex

**b. UNA CONEXIÓN SEMIDÚPLEX (A VECES DENOMINADA UNA CONEXIÓN ALTERNATIVA O SEMI-DÚPLEX)**

Es una conexión en la que los datos fluyen en una u otra dirección, pero no las dos al mismo tiempo. Con este tipo de conexión, cada extremo de la conexión transmite uno después del otro. Este tipo de conexión hace posible tener una comunicación bidireccional utilizando toda la capacidad de la línea. (Figura 11).

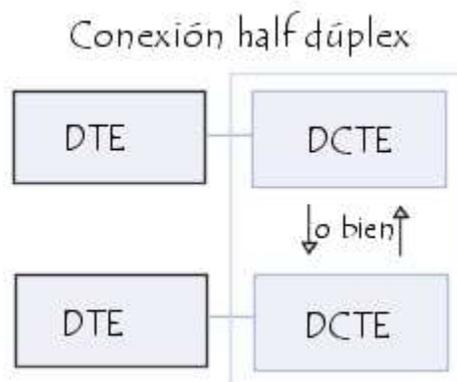


Figura 11. Conexión Half Duplex

### c. UNA CONEXIÓN DÚPLEX TOTAL

Es una conexión en la que los datos fluyen simultáneamente en ambas direcciones. Así, cada extremo de la conexión puede transmitir y recibir al mismo tiempo; esto significa que el ancho de banda se divide en dos para cada dirección de la transmisión de datos si es que se está utilizando el mismo medio de transmisión para ambas direcciones de la transmisión. (Figura 12).

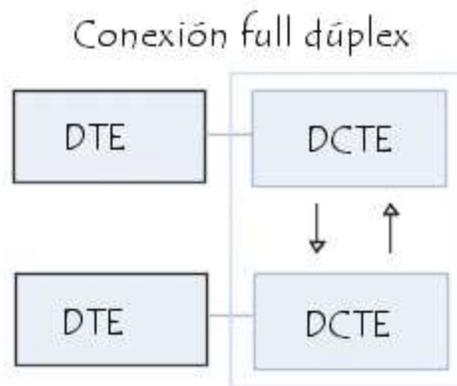


Figura 12. Conexión Full Duplex

### v. TRANSMISIÓN EN SERIE Y PARALELA

El **modo de transmisión** se refiere al número de unidades de información (bits) elementales que se pueden traducir simultáneamente a través de los canales de comunicación. De hecho, los procesadores (y por lo tanto, los equipos en general) nunca procesan (en el caso de los procesadores actuales) un solo bit al mismo tiempo. Generalmente son capaces de procesar varios (la mayoría de las veces 8 bits: un byte) y por este motivo, las conexiones básicas en un equipo son conexiones paralelas.

#### a) CONEXIÓN PARALELA

Las conexiones paralelas consisten en transmisiones simultáneas de  $N$  cantidad de bits. Estos bits se envían simultáneamente a través de diferentes canales  $N$  (un canal puede ser, por ejemplo, un *alambre*, un cable o cualquier otro medio físico). La [conexión paralela](#) (Figura 13) en equipos del tipo PC generalmente requiere 10 alambres.

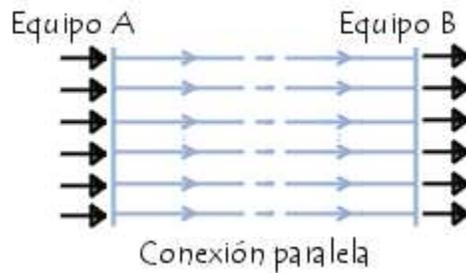


Figura 13. Conexión Paralela

Estos canales pueden ser:

- $N$  líneas físicas: en cuyo caso cada bit se envía en una línea física (motivo por el cual un cable paralelo está compuesto por varios alambres dentro de un cable cinta)
- Una línea física dividida en varios subcanales, resultante de la división del ancho de banda. En este caso, cada bit se envía en una frecuencia diferente...

Debido a que los alambres conductores están uno muy cerca del otro en el cable cinta, puede haber interferencias (particularmente en altas velocidades) y degradación de la calidad en la señal...

## b) CONEXIÓN EN SERIE

En una conexión en serie (Figura 14), los datos se transmiten de a un bit por vez a través del canal de transmisión. Sin embargo, ya que muchos procesadores procesan los datos en

paralelo, el transmisor necesita transformar los datos paralelos entrantes en datos seriales y el receptor necesita hacer lo contrario.

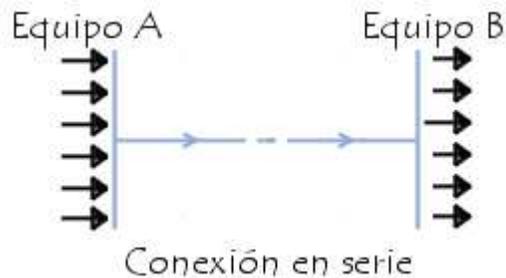


Figura 14. Conexión en Serie

Estas operaciones son realizadas por un controlador de comunicaciones (normalmente un chip *UART, Universal Asynchronous Receiver Transmitter (Transmisor Receptor Asíncrono Universal)*). El controlador de comunicaciones trabaja de la siguiente manera:

- **La transformación paralela-en serie** (Figura 15) se realiza utilizando un registro de desplazamiento. El registro de desplazamiento, que trabaja conjuntamente con un reloj, desplazará el registro (que contiene todos los datos presentados en paralelo) hacia la izquierda y luego, transmitirá el bit más significativo (el que se encuentra más a la izquierda) y así sucesivamente:



Figura 15. Transformación de Conexión de Paralela a Serie

- **La transformación en serie-paralela** (Figura 16) se realiza casi de la misma manera utilizando un registro de desplazamiento. El registro de desplazamiento desplaza el registro hacia la izquierda cada vez que recibe un bit, y luego, transmite el registro entero en paralelo cuando está completo:



Figura 16. Transformación de Conexión de Serie a Paralela

### c) TRANSMISIÓN SINCRÓNICA Y ASINCRÓNICA

Debido a los problemas que surgen con una conexión de tipo paralela, es muy común que se utilicen conexiones en serie. Sin embargo, ya que es un solo cable el que transporta la información, el problema es cómo sincronizar al transmisor y al receptor. En otras palabras, el receptor no necesariamente distingue los caracteres (o más generalmente, las secuencias de bits) ya que los bits se envían uno después del otro. Existen dos tipos de transmisiones que tratan este problema:

- **La conexión asincrónica**, en la que cada carácter se envía en intervalos de tiempo irregulares (por ejemplo, un usuario enviando caracteres que se introducen en el teclado en tiempo real). Así, por ejemplo, imagine que se transmite un solo bit durante un largo período de silencio... el receptor no será capaz de darse cuenta si esto es 00010000, 10000000 ó 00000100...

Para remediar este problema, cada carácter es precedido por información que indica el inicio de la transmisión del carácter (el inicio de la transmisión de información se denomina *bit de INICIO*) y finaliza enviando información acerca de la finalización de la transmisión (denominada *bit de FINALIZACIÓN*, en la que incluso puede haber varios bits de FINALIZACIÓN).

- En una **conexión sincrónica**, el transmisor y el receptor están sincronizados con el mismo reloj. El receptor recibe continuamente (incluso hasta cuando no hay transmisión de bits) la información a la misma velocidad que el transmisor la envía. Es por este motivo que el receptor y el transmisor están sincronizados a la misma

velocidad. Además, se inserta información suplementaria para garantizar que no se produzcan errores durante la transmisión.

En el transcurso de la transmisión sincrónica, los bits se envían sucesivamente sin que exista una separación entre cada carácter, por eso es necesario insertar elementos de sincronización; esto se denomina **sincronización al nivel de los caracteres**.

La principal desventaja de la transmisión sincrónica es el reconocimiento de los datos en el receptor, ya que puede haber diferencias entre el reloj del transmisor y el del receptor. Es por este motivo que la transmisión de datos debe mantenerse por bastante tiempo para que el receptor pueda distinguirla. Como resultado de esto, sucede que en una conexión sincrónica, la velocidad de la transmisión no puede ser demasiado alta.

vi. **VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ETHERNET SOBRE OTROS PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.**

a) **VENTAJAS:**

- Costos reducidos y amplia aceptación:

Ethernet es un protocolo ampliamente aceptado que cuenta con el apoyo de la IEEE y de los comités internacionales de Estandarización. Además, Ethernet cuenta con una importante difusión en aplicaciones ofimáticas.

- Velocidad:

Los últimos avances en tecnología Ethernet incluyen Fast Ethernet y Gigabit Ethernet. Fast Ethernet (100 Mbit/s) es actualmente una tecnología de vanguardia. Gigabit Ethernet, con sus 1000 Mbit/s, se considera la tecnología del futuro.

- Integración con Internet/ Intranet:

Todas las redes Ethernet instaladas son compatibles con protocolos de comunicaciones que implican una sofisticada transferencia de datos y las características propias de la administración de redes.

**b) DESVENTAJAS:**

- Limitación de distancias.
- Sensible al ruido.
- El método de acceso CSMA/CD no garantiza un tiempo de respuesta determinístico
- El desempeño de la red está en función del número de dispositivos que se conecten.
- El tráfico no debe exceder el 40% de utilización del ancho de banda.
- Existen colisiones
- No son determinísticas
- Son *half-duplex*
- Usa *broadcast*
- Su rendimiento baja al aumentar el número de usuarios (Figura 17)

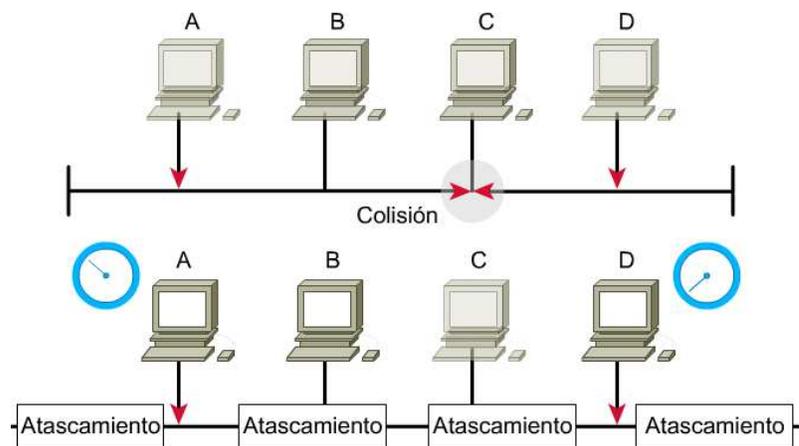


Figura 17. Desventajas de Ethernet

vii. **MODELO OSI.**

Los estándares están organizados de acuerdo al modelo de referencia OSI (Tabla 2):

Tabla 2. Modelo OSI

Nivel OSI	Función que ofrece
Aplicación	Aplicaciones de Red: transferencia de archivos
Presentación	Formatos y representación de los datos
Sesión	Establece, mantiene y cierra sesiones
Transporte	Entrega confiable/no confiable de "mensajes"
Red	Entrega los "paquetes" y hace enrutamiento
Enlace	Transfiere "frames", chequea errores
Física	Transmite datos binarios sobre un medio

a) **CAPAS DE MODELO OSI QUE DESCRIBE ETHERNET.**

Ethernet opera en dos áreas del modelo OSI, la mitad inferior de la capa de enlace de datos, conocida como subcapa MAC y la capa física. (Figura 18, Tabla 3)

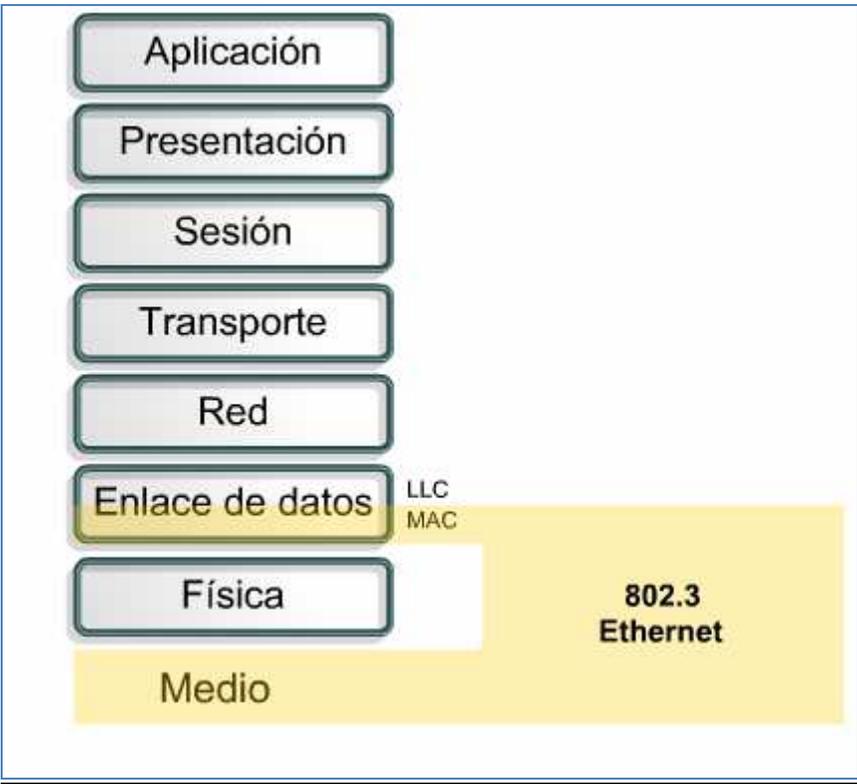


Figura 18. Modelo OSI para Ethernet

Tabla 3. OSI de Ethernet

Capa de enlace de datos	Subcapa LLC	Control lógico 802.2								
	Subcapa MAC	Punteo 802.1								
Capa física	Descripción general y arquitectura de 802 (802.1a)	802.3 Ethernet	802.4 Bus de transmisión de tokens	802.5 Token Ring	802.6 Método de acceso DQDB	802.9 Servicios Integrados	802.11 LAN inalámbrica	802.12 Prioridad de demanda (VG)	802.14 TV por cable	802.15 Red de área personal inalámbrica

La Ethernet en la Capa 1 incluye las interfaces con los medios, señales, corrientes de bits que se transportan en los medios, componentes que transmiten la señal a los medios y las distintas topologías.

La Capa 1 de Ethernet tiene un papel clave en la comunicación que se produce entre los dispositivos, pero cada una de estas funciones tiene limitaciones.

La Capa 2 se ocupa de estas limitaciones. (Tabla 4, 5)

Tabla 4. Capas para Ethernet

- La capa 1 no se puede comunicar con las capas de niveles superiores.
- La capa 2 hace esto con el Control de Enlace Lógico (LLC).
- La capa 1 no puede identificar computadoras.
- La capa 2 usa un proceso de direccionamiento.
- La capa 1 sólo puede describir corrientes de bits.
- La capa 2 usa el entramado para organizar o agrupar los bits.
- La capa 1 no puede descifrar cuál de las computadoras transmitirá los datos binarios desde un grupo en el que todos están tratando de realizar la transmisión al mismo tiempo.
- La capa 2 usa un sistema denominado Control de Acceso al Medio (MAC)

Tabla 5. Distribución de las Capas OSI de Ethernet

Subcapa de control de enlace lógico	
Control de acceso al medio 802.3	
<b>Subcapa de señalización física</b>	
<b>Medio físico</b>	
	10BASE5 (500m) 50 Ohm Coax N-Style
	10BASE2 (185m) 50 Ohm Coax BNC
	10BASE-T (100m) 100 Ohm UTP RJ-45
	100BASE-TX (100m) 100 Ohm UTP RJ-45
	1000BASE-CX (25m) 150 Ohm STP mini-DB-9
	1000BASE-T (100m) 100 Ohm UTP RJ-45
	1000BASE-SX (220-550m) MM Fiber SC
	1000BASE-LX (550-5000m) m) MM or SM Fiber SC

## b) OBJETIVOS DE ETHERNET.

Los objetivos principales de Ethernet son consistentes con los que se han convertido en los requerimientos básicos para el desarrollo y uso de redes LAN.

Los objetivos originales de Ethernet son:

- Simplicidad

Las características que puedan complicar el diseño de la red sin hacer una contribución substancial para alcanzar otros objetivos se han excluido.

- Bajo Costo

Las mejoras tecnológicas van a continuar reduciendo el costo global de los dispositivos de conexión.

- Compatibilidad

Todas las implementaciones de Ethernet deberán ser capaces de intercambiar datos a nivel de capa de enlace de datos. Para eliminar la posibilidad de variaciones incompatibles de Ethernet, la especificación evita características opcionales.

- Direccionamiento flexible

El mecanismo de direccionamiento debe proveer la capacidad de dirigir datos a un único dispositivo, a un grupo de dispositivos, o alternativamente, difundir (broadcast) el mensaje a todos los dispositivos conectados a la red.

- Equidad

Todos los dispositivos conectados deben tener el mismo acceso a la red.

- Progreso

Ningún dispositivo conectado a la red, operando de acuerdo al protocolo Ethernet, debe ser capaz de prevenir la operación de otros dispositivos.

- Alta velocidad

La red debe operar eficientemente a una tasa de datos de 10 Mb/s.

- Bajo retardo

En cualquier nivel de tráfico de la red, debe presentarse el mínimo tiempo de retardo posible en la transferencia de datos.

- Estabilidad

La red debe ser estable bajo todas las condiciones de carga. Los mensajes entregados deben mantener un porcentaje constante de la totalidad del tráfico de la red.

- Mantenimiento

El diseño de Ethernet debe simplificar el mantenimiento de la red, operaciones y planeamiento.

- Arquitectura en capas

El diseño Ethernet debe ser especificado en términos de capas de forma de separar las operaciones lógicas de los protocolos de capa de enlace de las especificaciones de comunicaciones físicas del canal de comunicación.

## 6. ETHERNET INDUSTRIAL.

Éste es el nombre dado a la utilización del protocolo Ethernet en un entorno industrial, de automatización y control de máquinas de producción.

- No se trata sólo de una versión más robusta de la tecnología Ethernet tradicional
- Se centra en el entorno de producción y requiere normas más estrictas

### i. FORMATO DE LA TRAMA.

Se podría utilizar un gráfico de voltaje en función de tiempo para visualizar los bits.

Sin embargo, cuando se trabaja con grandes unidades de datos e información de control y direccionamiento, los gráficos de voltaje en función de tiempo pueden volverse excesivamente grandes y confusos.

Otro tipo de diagrama que se puede utilizar es el diagrama de *formato de trama*, que se basa en los gráficos de voltaje en función de tiempo.

Estos diagramas se leen de izquierda a derecha, como un gráfico de osciloscopio. Los diagramas de formato de trama muestran distintas agrupaciones. (Figura 19)

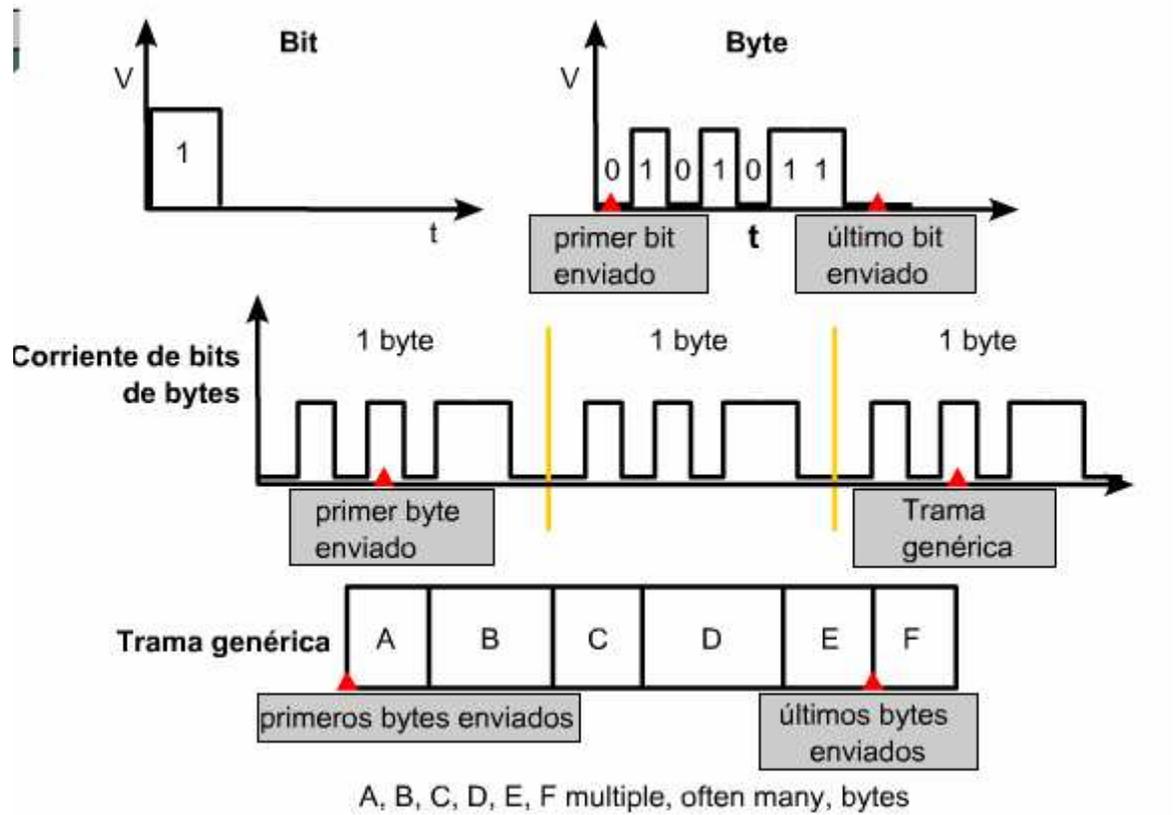


Figura 19. Lectura de la Trama de Ethernet

Los nombres de los campos son los siguientes:

- Campo de inicio de trama
- Campo de dirección
- Campos de longitud/tipo
- Campo de datos
- Campo de secuencia de verificación de trama (Tabla 6, 7)

Nombres de campos				
A	B	C	D	E
Campo de inicio de trama	Campo de dirección	Campo de tipo/longitud	Campo de datos	Campo FCS

Tabla 7. Formato de la Trama

Comparación entre DIX Ethernet y IEEE 802.3								
<b>Trama DIX Ethernet</b>	<b>Preámbulo</b>		<b>Destino</b>	<b>Origen</b>	<b>Tipo</b>	<b>Datos</b>	<b>Relleno</b>	<b>FCS</b>
	8 bytes		6 bytes	6 bytes	2 bytes	0 a 1500 bytes	0 a 46 bytes	2 ó 4 bytes
<b>Trama IEEE 802.3</b>	<b>Preámbulo</b>	<b>SOF</b>	<b>Destino</b>	<b>Origen</b>	<b>Longitud</b>	<b>Datos</b>	<b>Relleno</b>	<b>FCS</b>
	7 bytes	1 byte	6 bytes	6 bytes	2 bytes	0 a 1500 bytes	0 a 46 bytes	4 bytes
Comparación entre DIX Ethernet y IEEE 802.3								
<b>Trama DIX Ethernet</b>	<b>Preámbulo</b>		<b>Destino</b>	<b>Origen</b>	<b>Tipo</b>	<b>Datos</b>	<b>Relleno</b>	<b>FCS</b>
	8 bytes		6 bytes	6 bytes	2 bytes	0 a 1500 bytes	0 a 46 bytes	2 ó 4 bytes
<b>Trama IEEE 802.3</b>	<b>Preámbulo</b>	<b>SOF</b>	<b>Destino</b>	<b>Origen</b>	<b>Longitud</b>	<b>Datos</b>	<b>Relleno</b>	<b>FCS</b>
	7 bytes	1 byte	6 bytes	6 bytes	2 bytes	0 a 1500 bytes	0 a 46 bytes	4 bytes

- Preámbulo

Un campo de 7 bytes (56 bits) con una secuencia de bits usada para sincronizar y estabilizar el medio físico antes de iniciar la transmisión de datos. El patrón del preámbulo es:

10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010

Estos bits se transmiten en orden, de izquierda a derecha y en la codificación Manchester representan una forma de onda periódica.

- SOF (Start Of Frame) Inicio de Trama

Campo de 1 byte (8 bits) con un patrón de 1s y 0s alternados y que termina con dos 1s consecutivos. El patrón del SOF es: 10101011. Indica que el siguiente bit será el bit más significativo del campo de dirección MAC de destino.

Aunque se detecte una colisión durante la emisión del preámbulo o del SOF, el emisor debe continuar enviando todos los bits de ambos hasta el fin del SOF.

- Dirección de destino

Campo de 6 bytes (48 bits) que especifica la dirección MAC de tipo EUI-48 hacia la que se envía la trama. Esta dirección de destino puede ser de una estación, de un grupo *multicast* o la dirección de *broadcast* de la red. Cada estación examina este campo para determinar si debe aceptar la trama (si es la estación destinataria).

- Dirección de origen

Campo de 6 bytes (48 bits) que especifica la dirección MAC de tipo EUI-48 desde la que se envía la trama. La estación que deba aceptar la trama conoce por este campo la dirección de la estación origen con la cual intercambiará datos.

- Tipo

Campo de 2 bytes (16 bits) que identifica el protocolo de red de alto nivel asociado con la trama o, en su defecto, la longitud del campo de datos. La capa de enlace de datos interpreta este campo. (En la IEEE 802.3 es el campo longitud y debe ser menor o igual a 1526 bytes.)

- Datos

Campo de 0 a 1500 Bytes de longitud. Cada Byte contiene una secuencia arbitraria de valores. El campo de datos es la información recibida del nivel de red (la carga útil). Este campo, también incluye los H3 y H4 (cabeceras de los niveles 3 y 4), provenientes de niveles superiores.

- Relleno

Campo de 0 a 46 bytes que se utiliza cuando la trama Ethernet no alcanza los 64 bytes mínimos para que no se presenten problemas de detección de colisiones cuando la trama es muy corta.

FCS (Frame Check Sequence - Secuencia de Verificación de Trama)

Campo de 32 bits (4 bytes) que contiene un valor de verificación CRC (Control de redundancia cíclica). El emisor calcula el CRC de toda la trama, desde el campo destino al campo CRC suponiendo que vale 0. El receptor lo recalcula, si el valor calculado es 0 la trama es válida.

## ii. TECNOLOGÍA Y VELOCIDAD.

Hace ya mucho tiempo que Ethernet consiguió situarse como el principal protocolo del nivel de enlace. Ethernet 10Base2 consiguió, ya en la década de los 90s, una gran aceptación en el sector. Hoy por hoy, 10Base2 se considera como una "tecnología de legado" respecto a 100BaseT. Hoy los fabricantes ya han desarrollado adaptadores capaces de trabajar tanto con la tecnología 10baseT como la 100BaseT y esto ayuda a una mejor adaptación y transición.

Las tecnologías Ethernet que existen se diferencian en estos conceptos:

- Velocidad de transmisión

Velocidad a la que transmite la tecnología.

- Tipo de cable

Tecnología del nivel físico que usa la tecnología.

- Longitud máxima

Distancia máxima que puede haber entre dos nodos adyacentes (sin estaciones repetidoras).

- Topología

Determina la forma física de la red. Bus si se usan conectores T (hoy sólo usados con las tecnologías más antiguas) y estrella si se usan hubs (estrella de difusión) o switches (estrella conmutada).

A continuación se especifican los anteriores conceptos en las tecnologías más importantes (Tabla 8):

Tabla 8. Tecnologías Ethernet

Tecnologías Ethernet				
Tecnología	Velocidad de transmisión	Tipo de cable	Distancia máxima	Topología
10Base2	10 Mbps	Coaxial	185 m	Bus (Conector T)
10BaseT	10 Mbps	Par Trenzado	100 m	Estrella (Hub o Switch)
10BaseF	10 Mbps	Fibra óptica	2000 m	Estrella (Hub o Switch)
100BaseT4	100Mbps	Par Trenzado (categoría 3UTP)	100 m	Estrella. Half Duplex (hub) y Full Duplex (switch)
100BaseTX	100Mbps	Par Trenzado (categoría 5UTP)	100 m	Estrella. Half Duplex (hub) y Full Duplex (switch)
100BaseFX	100Mbps	Fibra óptica	2000 m	No permite el uso de hubs
1000BaseT	1000Mbps	4 pares trenzado (categoría 5e ó 6UTP)	100 m	Estrella. Full Duplex (switch)
1000BaseSX	1000Mbps	Fibra óptica (multimodo)	550 m	Estrella. Full Duplex (switch)
1000BaseLX	1000Mbps	Fibra óptica (monomodo)	5000 m	Estrella. Full Duplex (switch)

### iii. HARDWARE UTILIZADO.

Los elementos de una red Ethernet son: tarjeta de red, repetidores, concentradores, puentes, los conmutadores, los nodos de red y el medio de interconexión. Los nodos de red pueden clasificarse en dos grandes grupos: equipo terminal de datos (DTE) y equipo de comunicación de datos (DCE).

Los DTE son dispositivos de red que generan el destino de los datos: los PC, las estaciones de trabajo, los servidores de archivos, los servidores de impresión; todos son parte del grupo de las estaciones finales. Los DCE son los dispositivos de red intermediarios que reciben y retransmiten las tramas dentro de la red; pueden ser: ruteadores, conmutadores (switch), concentradores (hub), repetidores o interfaces de comunicación. Por ejemplo: un módem o una tarjeta de interfaz.

NIC, o Tarjeta de Interfaz de Red - permite que una computadora acceda a una red local. Cada tarjeta tiene una *única* dirección MAC que la identifica en la red. Una computadora conectada a una red se denomina nodo.

Repetidor o *repeater* - aumenta el alcance de una conexión física, recibiendo las señales y retransmitiéndolas, para evitar su degradación, a través del medio de transmisión, lográndose un alcance mayor. Usualmente se usa para unir dos áreas locales *de igual* tecnología y sólo tiene *dos* puertos. Opera en la capa física del modelo OSI.

Concentrador o *hub* - funciona como un repetidor pero permite la interconexión de *múltiples* nodos. Su funcionamiento es relativamente simple pues recibe una trama de ethernet, por uno de sus puertos, y la repite por todos sus puertos restantes sin ejecutar ningún proceso sobre las mismas. Opera en la capa física del modelo OSI.

Puente o *bridge* - interconecta segmentos de red haciendo el cambio de *frames* (tramas) entre las redes de acuerdo con una tabla de direcciones que le dice en qué segmento está ubicada una dirección MAC dada (Figura 20).



Figura 20. Conexiones en un switch Ethernet.

Conmutador o *Switch* - funciona como el *bridge*, pero permite la interconexión de múltiples segmentos de red, funciona en velocidades más rápidas y es más sofisticado. Los *switches* pueden tener otras funcionalidades, como *Redes virtuales* , y permiten su configuración a través de la propia red. Funciona básicamente en la capa 2 del modelo OSI (enlace de datos). Por esto son capaces de procesar información de las tramas; su funcionalidad más importante es en las tablas de dirección. Por ejemplo, una computadora conectada al puerto 1 del conmutador envía una trama a otra computadora conectada al puerto 2; el *switch* recibe la trama y la transmite a todos sus puertos, excepto aquel por donde la recibió; la computadora 2 recibirá el mensaje y eventualmente lo responderá, generando tráfico en el sentido contrario; ahora el *switch* conocerá las direcciones MAC de las computadoras en el puerto 1 y 2; cuando reciba otra trama con dirección de destino de alguna de ellas, sólo transmitirá la trama a dicho puerto disminuyendo así el tráfico de la red y contribuyendo al buen funcionamiento de la misma.

#### iv. CONFIGURACIÓN DEL CABLE RJ-45

Según la norma T568B y como se muestra en la figura, el orden de cables de acuerdo a los colores es el siguiente (Figura 21):

1. Blanco Naranja
2. Naranja

3. Blanco Verde
4. Azul
5. Blanco Azul
6. Verde
7. Blanco café
8. Café

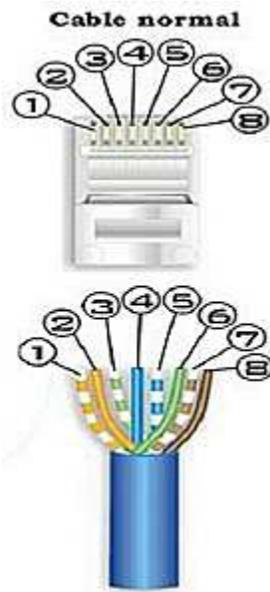


Figura 21. Diagrama de Conexión Física del cable RJ-45

Según la norma T568A y como se muestra en la figura, el orden de cables de acuerdo a los colores es el siguiente (Figura 22):

1. Blanco verde
2. Verde
3. Blanco naranja
4. Azul
5. Blanco azul
6. Naranja
7. Blanco café
8. Café

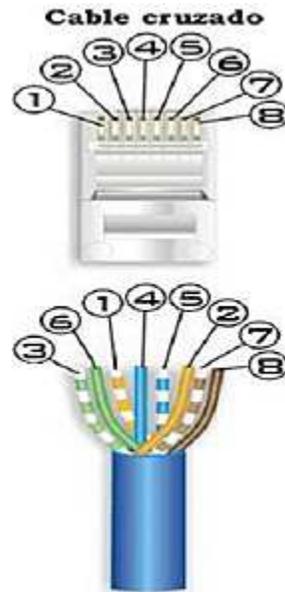


Figura 22. Diagrama de Conexión Física del cable RJ-45

Si se quiere construir un cable que vaya de una computadora a un concentrador, se usa una sola configuración en ambos extremos. Si se quiere construir un cable que vaya de un concentrador a otro o de una computadora a otra, se usan ambas configuraciones, una en cada extremo (lo que se conoce como cable cruzado).

## **7. ETHERNET Y SUS APLICACIONES.**

Ethernet industrial es el análisis, la producción, proceso y control enfocado a diferencia de la tecnología estándar de la tecnología focalizada en la industria. Industrial Ethernet (IE) se centra en la producción de elementos que hacen que una empresa rentable a través de algún proceso de fabricación. Industrial Ethernet, a veces denominado Producción Ethernet está diseñado para mantener el control de un proceso de producción durante el seguimiento de la producción de muchos artículos tradicionalmente relegado al mundo analógico, como temperatura, humedad, pH, presión, flujo, viscosidad, densidad, peso, la vibración, el par , RPM, tensión, corriente, radiación, control de movimiento total robótica con retroalimentación, acceso y control por satélite, circuito cerrado de televisión con HD de movimiento, voz y de intercomunicación, de dos vías de acceso de radio y control etc.

Ethernet industrial no se trata sólo de una versión más robusta de TI de Ethernet. Ethernet industrial se centra en el entorno de producción y no debe nunca confundirse con el entorno de TI tradicional. IE requiere mucho más estrictas las normas para los productos que se han desplegado, ya que están habitualmente en entornos de fábrica, cerca de grandes IME (Interferencia Electro Magnético) dispositivos como motores, mecánicos y de alta humedad, altas temperaturas o el frío, de alto contenido químico, vaporosa atmósfera etc.... donde la mayoría de los dispositivos de TI que han sido diseñados para utilizar entornos de oficina.

Industrial Ethernet (IE) son generalmente los componentes desplegados en la planta o están en zonas y debe ser diseñado para trabajar y sobrevivir en estos ambientes extremos, donde el equipo de TI normales no fácilmente y sin las estrictas de copia de seguridad, supervivencia y MTBF requisitos. Industrial Ethernet a menudo incluyen entornos desconocidos, entornos peligrosos y los factores que pueden influir fuertemente en el funcionamiento global de los dispositivos de Ethernet estándar, tal como se describe más arriba. De hecho IE apoya a los muchos factores que cuando se produce la pérdida de control podría provocar graves desastres o la pérdida de la vida, la propiedad por no hablar de graves pérdidas financieras. En entornos como el petróleo, el gas y la producción de este

químico es especialmente cierto. Una cuestión de un día en alta mar podría costar \$ 500K a \$ 1 millón, de modo Ethernet industrial tiene un enfoque mucho más exigente a fin de fallo de un componente y los problemas deben resolverse con rapidez o se producen graves pérdidas.

## **i. INDUSTRIAL**

### **Aplicación:**

Embotelladora

### **Sector:**

Automatización de Fabricas

### **Función:**

Red Ethernet industrial Autómata

La mayoría de las maquinas automatizadas de las fabricas cuentan con una infraestructura de comunicaciones. Incluso una maquina relativamente sencilla, como una embotelladora, se puede mejorar significativamente utilizando Ethernet como bus de comunicación interno.

El pupitre de control incluye un PLC y una HMI. Ethernet facilita una conexión de alta velocidad simple. Además, instalando un conmutador en el pupitre se dispone de un punto de acceso para un portátil. De este modo, el técnico puede acceder tanto al PLC como a la HMI desde un único punto, lo cual simplifica las actualizaciones del software y la localización de fallos en la maquina. (Figura 23)

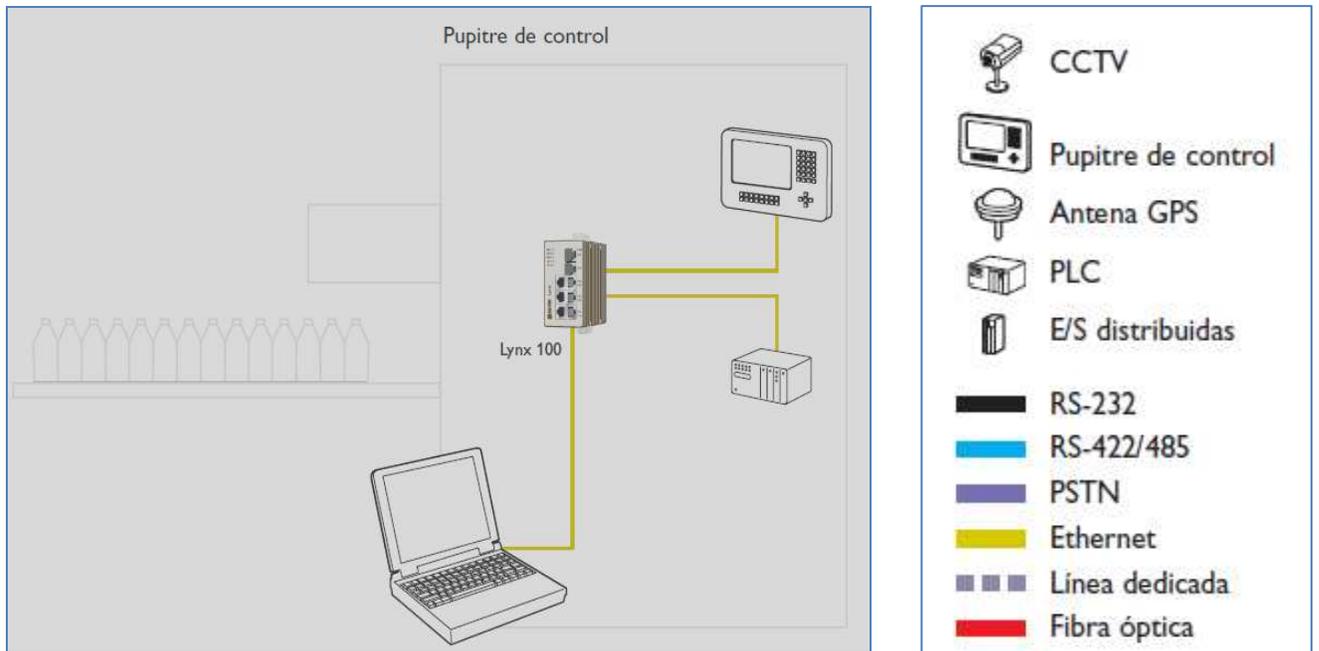


Figura 23. Diagrama de Conexión de una red Ethernet de una Embotelladora

**Aplicación:**

Conexión de equipos Proprietarios a una red SCADA

**Sector:**

Automatización de la Producción

**Función:**

Uso de TCP/IP en Ethernet para Transmitir datos serie

En casi todas las líneas de producción nuevas se esta instalando una Ethernet industrial como red de comunicaciones básica, especialmente en aquellos casos en que todo el sistema se controla desde un ordenador central SCADA. La conectividad y la sencillez de la instalación han convencido a los departamentos de ingeniería de producción de la conveniencia de reconvertir las líneas de producción existentes para que puedan utilizar Ethernet industrial.

En lugar de actualizar los equipos existentes y los buses de datos que utilizaban protocolos serie RS-232 y RS-422/485 múltiples, se puede instalar una combinación de unidades

EDW-100 y EDW-120 configuradas para TCP o unidades ED-12 TCP para aprovechar todos los protocolos propietarios por la red Ethernet.

La unidad EDW-120 permite conectar dos componentes de equipos basados en RS-232 en un solo puerto Ethernet, mientras que la unidad EDW-100 permite conectar un solo componente.

Todos los datos serie se encapsulan en paquetes TCP/ IP y se pueden transmitir al PC SCADA a través de una conexión Ethernet simple, en lugar de por las conexiones múltiples del sistema anterior. (Figura 24)

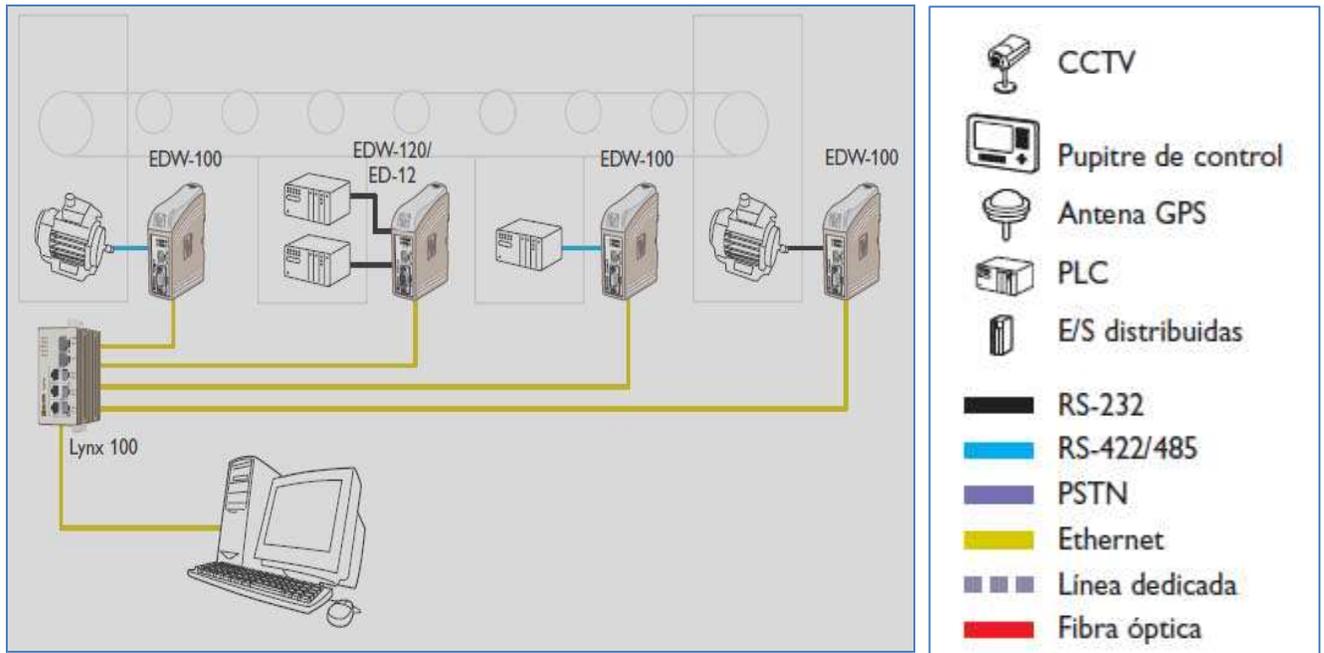


Figura 24. Diagrama de Conexión de una red Ethernet en SCADA

**Aplicación:**

Planta de Tratamiento de Agua

**Sector:**

Agua

**Función:**

## Red Ethernet en Anillo Redundante

Las especificaciones de los equipos de control de una planta de tratamiento de agua exigen una red de comunicaciones fiable y tolerante a fallos.

La planta del ejemplo consta de varios edificios y salas que se utilizan para distintos procesos. Dado que todos los equipos de proceso eran compatibles con Ethernet, la decisión de utilizar el switch Lynx 308 para red en anillo a la hora de crear una red redundante y tolerante a fallos no resulto difícil de tomar. Entre los edificios se instalaron cables de fibra óptica multimodo, ya que el recorrido mayor era de solamente 2 km. La topografía de la planta facilitaba además la instalación de una estructura en anillo. Si se produce un fallo en la fibra óptica o un cable resulta dañado, el sistema de comunicaciones lo detecta automáticamente y se recupera del fallo en 20 ms. De ese modo, el sistema de procesos no se ve afectado. (Figura 25)

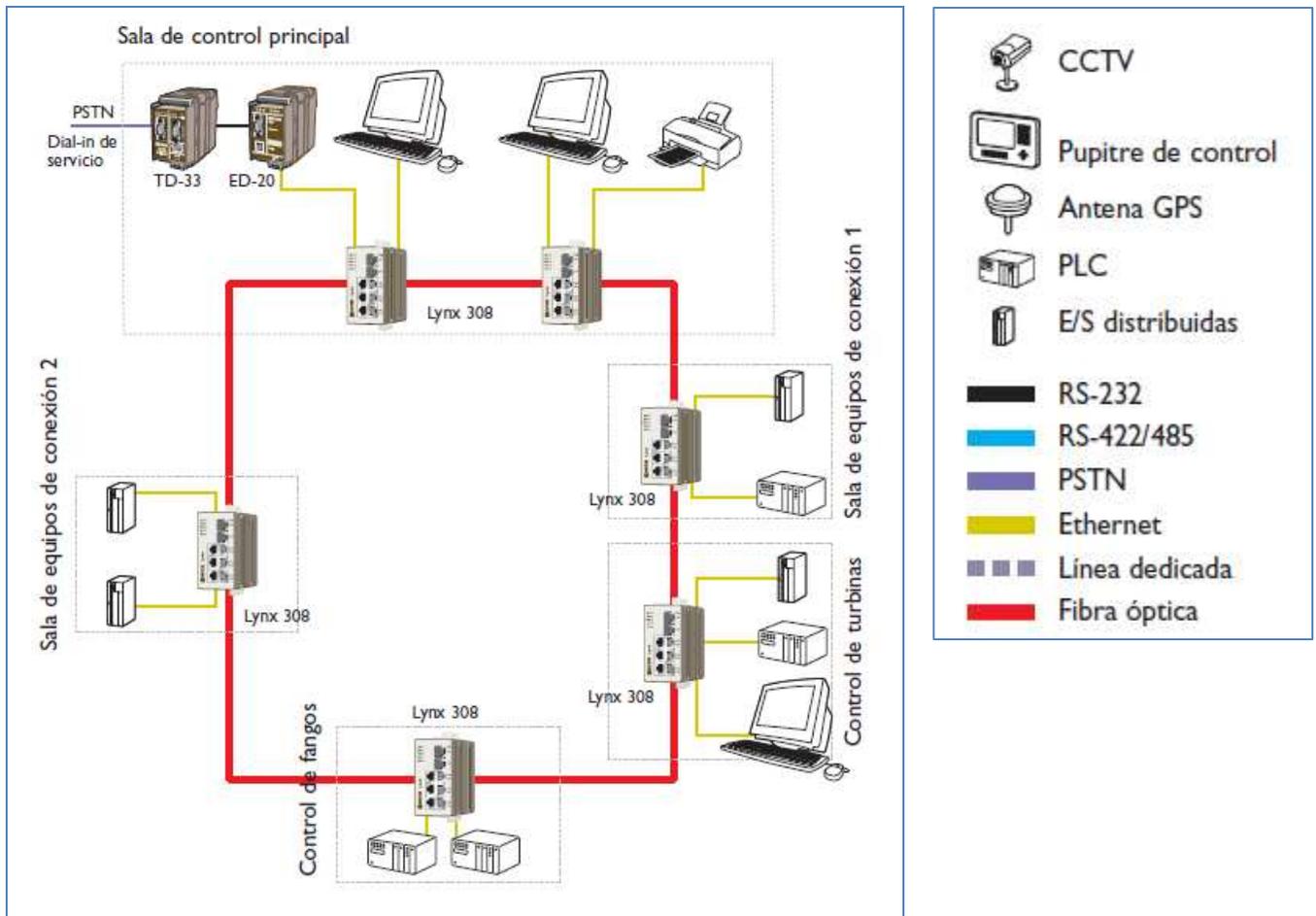


Figura 25. Diagrama de Conexión de una red Ethernet para un Sistema de Tratamiento de Aguas

**Aplicación:**

Control de Automatas

**Sector:**

Automoción

**Función:**

Conexión de fibra Óptica entre Edificios

Una fábrica de automóviles utiliza autómatas en el taller de montaje y en dos líneas de aplicación de pintura con pistola. Uno de los autómatas se puede programar a través de Ethernet, y los otros por un puerto RS-485.

Las líneas de pintura están situadas en una fábrica que se encuentra a casi 2 km del taller de montaje. Para poder programar todos los autómatas desde un punto central, se necesita una combinación de productos Westermo. El switch Ethernet SDW-541 tiene un puerto de fibra óptica, por lo que se puede utilizar para los enlaces de 2 km. Para las conexiones serie RS-485 se utilizan unidades EDW-100, y como conversor de medio para Ethernet, el MCW-211. Dado que el protocolo de comunicación es muy dependiente del tiempo, se utiliza el algoritmo de paquetes de las unidades EDW-100 para optimizar los parámetros de comunicación. El software redireccional de puertos de comunicación esta instalado en un PC. (Figura 26)

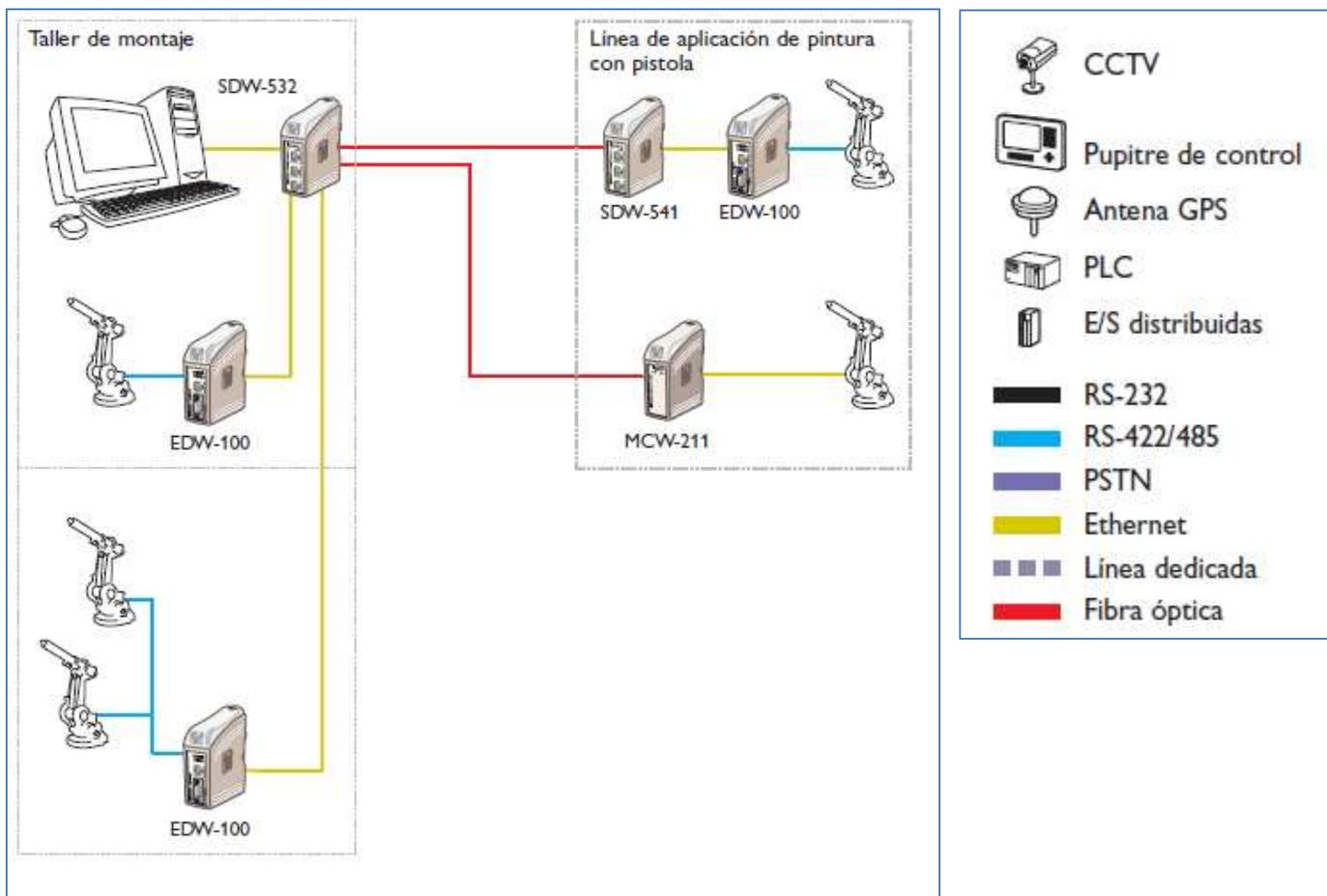


Figura26.Diagrama de Conexión de una Red Ethernet para Sistemas Automáticos

## **8. CONTROL DE TEMPERATURA Y PH UTILIZANDO UNA RED DE ETHERNET PARA LA PRODUCCIÓN DE YOGURT.**

### **i. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Partiendo de la teoría del proceso de elaboración de yogurt artesanal. Es necesario implementar una propuesta para controlar el pH y la temperatura del proceso utilizando la red Ethernet.

### **ii. OBJETIVO**

Presentar una propuesta de medición de Temperatura y PH para la producción de yogurt, a partir de teoría de producción de yogurt . Ampliando la aplicación a establecer una red Ethernet para monitoreo de la planta.

### **iii. PROPUESTA DE SOLUCIÓN.**

Se plantea desarrollar una conexión mediante PLC y controladores mediante Ethernet para hacer la medición de pH y temperatura para las propiedades del yogurt además de hacer los análisis que son requeridos para llevar a cabo el correcto control y desarrollo de este proceso.

Hacer pruebas de estabilidad como la de Alcohol al 68%, prueba de Acidez, prueba de densidad de leche, prueba de grasa (método gerber), sólidos totales, prueba de neutralizantes y prueba de adulterantes para el proceso de elaboración de yogurt.

#### **iv. METODOLOGÍA.**

Se consideró revisar y analizar los siguientes puntos: (a) abasto y control de calidad de la materia prima, (b), descripción de diagramas de flujo de los procesos y (c) Monitorear los estados de temperatura y pH del yogurt.

## **9. CONCLUSIÓN SOBRE ETHERNET.**

Creemos que es un buen método para desarrollar este proceso además de que se harían unas mediciones mas eficientes y correctas con el método de transmisión de datos mediante la red Ethernet la cual hoy en día a tenido un desarrollo mas amplio y avanzado de acuerdo con otros métodos de transmisión de datos, además de que es la tecnología donde en la mayoría de los lugares, además por su costo es muy amigable con el usuario, además de esto seria bueno implementar un método de calidad mediante un operador para verificar las mediciones realizadas haciendo operaciones de muestreo en determinados tiempos, utilizando alguna de las herramientas diseñadas.

El objetivo diseñado para este proceso es solo una parte total del análisis parcial en la producción de yogurt, haciéndolo de una forma muy sencilla de acuerdo al método tradicional.

## 10. BIBLIOGRAFÍA.

- Redes globales de información con Internet y TCP/IP. Douglas E. Comer. Ed. Pearson
- [http://www.ugr.es/~amroldan/utilidades/cableado/cables\\_rj45/rj45.htm](http://www.ugr.es/~amroldan/utilidades/cableado/cables_rj45/rj45.htm)
- Tanenbaum, Andrew S.. **Redes de Computadoras** 3ª Ed. Pearson, México, 1997
- [1] McAvoy T. et al. "Dynamics of pH in controlled stirred tank reactor". Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop., vol. 11, N1 1, pp. 68-70, 1972.
- [2] McAvoy T. "Time optimal and Ziegler-Nichols control". Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop., vol. 11, N11, pp. 71-78, 1972.
- [3] Jacobs O. et al. "Online computer control of pH in an industrial process". IEE Proc., vol. 127, Pt. D, N14, pp. 161-168, 1980.
- [4] Rojo F., Comparación de estrategias de control de pH. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista, Depto. de Ing. Eléctrica, Universidad de Chile, Diciembre 1997.
- [5] Chien I. and Fruenhaus P.S. "Consider IMC tuning to improve performance". Chem. Eng. Prog., pp.33-44, 1991.
- [6] Pajunen G.A. "Identification of a pH process represented by a nonlinear Wiener model". IFAC Workshop on Adaptive System in Control and Signal Processing, pp. 91-95, 1983.
- [7] Gustafsson T. y Waller K. "Dynamic modeling and control invariant control of pH". Chemical Engineering Science, vol. 38, N13, pp. 389-398, 1983.
- [8] Smith C.L, Corripio A.B and Martin J. "Controller tuning from simple process models". Instrumentation Technology, pp. 39-44, Dec. 1975.
- [9] Takahashi Y., Rabins M. and Auslander D, Control and dynamics systems. Addison-Wesley, 1970.
- [10] Gappa A. "Identificación del sistema y mejoras de la implementación de ganancia adaptable y lazo de feedforward", 21 Congreso latinoamericano de control automático, Buenos Aires, pp. 552-557, 1986.
- [11] Wright R. and Kravaris C. "Nonlinear control of pH processes using strong acid equivalent " Ind. Eng. Chemical Res. vol. 30, pp. 1561-1572, 1991.
- [12] Astrom K. J y Wittemark B, Adaptive Control, Addison-Wesley, 1989.
- 

---

<sup>i</sup> [http://docente.ucol.mx/al950441/public\\_html/osi1hec\\_B.htm](http://docente.ucol.mx/al950441/public_html/osi1hec_B.htm)

<sup>ii</sup>

[http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:KALx3WqJYXUJ:downloads.industrial.omron.eu/IAB/Products/Automation%2520Systems/Remote%2520IO/Wireless%2520IO/SF8P\\_DeviceNet/SF8P\\_DeviceNet\\_ESI01\\_0702.pdf+devicenet&hl=es&gl=mx&pid=bl&srcid=ADGEE5iv5wpEpXNrFrKysaXCeBpHS77sXPclDCI\\_inY17lqzrCVzwQw3TLJXPGAbJQMa1AR9WhkellAi1DUPETL3wDW8um4jxJSoxRRBtz-0ZQA3rV7wlqASYFf\\_2Xh88ICl5bQQH0Sf&sig=AHIEtbS6iWaA9ZCaJRlIcFev1Bwx5kOkdA](http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:KALx3WqJYXUJ:downloads.industrial.omron.eu/IAB/Products/Automation%2520Systems/Remote%2520IO/Wireless%2520IO/SF8P_DeviceNet/SF8P_DeviceNet_ESI01_0702.pdf+devicenet&hl=es&gl=mx&pid=bl&srcid=ADGEE5iv5wpEpXNrFrKysaXCeBpHS77sXPclDCI_inY17lqzrCVzwQw3TLJXPGAbJQMa1AR9WhkellAi1DUPETL3wDW8um4jxJSoxRRBtz-0ZQA3rV7wlqASYFf_2Xh88ICl5bQQH0Sf&sig=AHIEtbS6iWaA9ZCaJRlIcFev1Bwx5kOkdA)

<sup>iii</sup>

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:niGSTawZj8YJ:cabierta.uchile.cl/revista/19/articulos/pdf/edu3.doc+protocolo+interbus&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=mx&client=firefox-a>

---

iv

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:niGSTawZj8YJ:cabierta.uchile.cl/revista/19/articulos/pdf/edu3.doc+protocolo+interbus&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=mx&client=firefox-a>

v

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:niGSTawZj8YJ:cabierta.uchile.cl/revista/19/articulos/pdf/edu3.doc+protocolo+interbus&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=mx&client=firefox-a>

vi

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:niGSTawZj8YJ:cabierta.uchile.cl/revista/19/articulos/pdf/edu3.doc+protocolo+interbus&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=mx&client=firefox-a>

vii

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:niGSTawZj8YJ:cabierta.uchile.cl/revista/19/articulos/pdf/edu3.doc+protocolo+interbus&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=mx&client=firefox-a>

viii <http://es.wikipedia.org/wiki/Ethernet>



Centro Universitario, a 15 de Abril del 2010.

C. ERICK MARTÍN DURÁN BALDERAS, y  
 C. ABDIEL ARROYO GONZÁLEZ,  
 Pasante (s) del área de Ingeniería en Automatización,  
**P R E S E N T E .**

En respuesta a la solicitud que Usted (es) plantea (n) sobre la ASIGNACIÓN de ASESOR, necesario para la elaboración de la TESINA, y requisito para la acreditación del CURSO " REDES INDUSTRIALES DE PLC´S" se le (s) designa a la ING. MA. LUISA BALDERAS ESCAMILLA, para desarrollar el Tema: "DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA ETHERNET PARA SISTEMAS INDUSTRIALES Y SUS APLICACIONES" por lo que deberá (n) dirigirse al catedrático para ponerse de acuerdo y realizar el trabajo correspondiente tomando en cuenta los lineamientos que para su elaboración otorga el Centro de Educación Continua.

Por lo anterior me permito hacer de su conocimiento que la tesina deberá entregarse debidamente empastada y aprobada por su asesor y la coordinación del área a más tardar el día 26 de marzo del año dos mil diez.

**ATENTAMENTE**

"El ingenio para crear, no para destruir"

LIC. GENOVEVA MENESES SALINAS,  
 COORDINADORA



CENTRO DE EDUCACIÓN CONTINUA

**FIRMA DE ACEPTACIÓN DEL ASESOR**  
**ING. MA. LUISA BALDERAS ESCAMILLA**

Nombre: María Luisa Balderas Escamilla

Firma: \_\_\_\_\_

Fecha: 23/Abril/2010

De enterado



Cp. Archivo.  
 cpr\*



Centro Universitario, Octubre 2010.

### **A QUIEN CORRESPONDA:**

Hago constar que el (os) pasante (s) de la Licenciatura de Ingeniería Automatización **C. ABDIEL ARROYO GONZÁLEZ y ERIC MARTÍN DURÁN BALDERAS**, aprobaron (n) la **TESINA** del **CURSO "REDES INDUSTRIALES DE PLC'S"** impartido por el Centro de Educación Continua para lo cual presenta (n) el trabajo titulado **"DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA ETHERNET PARA SISTEMAS INDUSTRIALES Y SUS APLICACIONES"**.

**Aprobada con fines de Titulación.**

**ING. MARÍA LUISA BALDERAS ESCAMILLA,**  
**ASESOR DE TESINA**